



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

MODERNÍ PŘÍSTUPY V ÚDRŽBĚ

MODERN APPROACHES IN THE MAINTENANCE FIELD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Pšenková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Bc. Tereza Pšenková**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Moderní přístupy v údržbě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Údržba ve firemní praxi nabývá v poslední době na významu. Kromě klasických přístupů se objevují přístupy nové. Začínají se prosazovat moderní metody údržby, které každá firma rozpracovává dle vnitřních podmínek. Diplomová práce je zaměřena na popis a rozbor těchto moderních přístupů a dále na analýzu a zhodnocení zvoleného moderního přístupu v konkrétní firmě.

Cíle diplomové práce:

V diplomové práci se soustředíte na následující úkoly:

1. Rozeberte obecně údržbu ve firemní praxi.
2. Popište doposud známé moderní přístupy k údržbě.
3. V konkrétní vybrané firmě analyzujte údržbu a soustředte se na podrobnější popis moderních přístupů.
4. Analyzujte vybraný moderní přístup k údržbě ve firmě dle bodu 3., tento rozeberte a vyhodnoťte.

Seznam literatury:



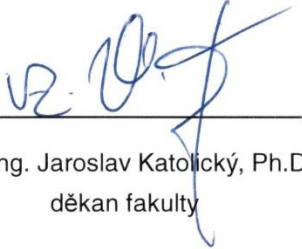
LEGÁT, Václav a kol. Management a inženýrství údržby. 1. vyd. Příbram: Kamil Mařík PBtisk, 2013. 570 s. ISBN 978-80-7431-119-2.

GREŇČÍK, Juraj a kol. Manažérstvo údržby - Synergia a teorie a praxe. 1. vyd. Košice: Slovenská spoločnosť údržby vo vydavateľstve: BEKI design, s.r.o Košice, 2013. 630 s. ISBN 978-80-89522-03-3.

MYKISKA, Antonín. Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006. 206 s. ISBN 80-01-02868-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016

		
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu		doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává o údržbě v podniku a moderních přístupech jejího řízení. Jedním z nejvyšších stupňů údržby je údržba proaktivní, využívající technické diagnostiky ke zjišťování příčin vzniku poruch. K nejdůležitějším z hlediska strojů patří vibrodiagnostika a termodiagnostika, které budou aplikovány na motorech ve firmě Bosch Diesel s.r.o.

ABSTRACT

This master thesis deals with position of the maintenance in the company structure and with modern management approaches. One of the highest levels of maintenance is the proactive maintenance, which is using the technical diagnostics to find out the causes of failures. The most important in case of machines are vibrodiagnostics and thermodiagnosics, which are going to be applied on the motors in company Bosch Diesel s.r.o.

KLÍČOVÁ SLOVA

Komplexní produktivní údržba, prediktivní a proaktivní údržba, technická diagnostika, vibrodiagnostika, termodiagnostika, Průmysl 4.0 v údržbě

KEYWORDS

Total productive maintenance, Predictive and proactive maintenance, technical diagnostics, vibrodiagnostics, thermodiagnosics, Industry 4.0 in maintenance

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PŠENKOVÁ, T. Moderní přístupy v údržbě. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 104 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu panu doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady při zpracovávání této diplomové práce.

Současně děkuji firmě Bosch Diesel s.r.o. – Jihlava za možnost zpracování diplomové práce v zázemí velké mezinárodní firmy. Konkrétně bych ráda poděkovala panu Ing. Radku Havlovi za podporu a rady při práci se softwarem, a panu Danielovi Frajovi za odbornou pomoc v oblasti vibrodiagnostiky.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala rodině a přátelům za podporu a svému příteli za trpělivost.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing Miloše Hammera, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Pšenková Tereza

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	ÚDRŽBA V PODNIKU	19
2.1	Vývoj údržby	20
2.2	Typy údržby	20
3	INDUSTRY 4.0	23
4	TPM - TOTÁLNĚ (KOMPLEXNÍ) PRODUKTIVNÍ ÚDRŽBA.....	25
4.1	Pilíře TPM.....	25
4.1.1	Hodnocení celkové efektivnosti zařízení (CEZ)	26
4.1.2	Autonomní údržba	27
4.1.3	Plánovaná údržba.....	27
4.1.4	Systém pro návrh preventivní údržby a včasný management zařízení.....	28
4.1.5	Trénink pro zlepšení zručnosti pracovníků	28
4.2	Vizuální management	28
4.3	Zavádění TPM	28
4.4	Přínosy	29
5	DIAGNOSTIKA A MONITOROVÁNÍ.....	31
5.1	Diagnostický systém	32
5.2	Diagnostické informační systémy.....	32
6	TERMODIAGNOSTIKA	33
6.1	Dotykové měření.....	33
6.2	Bezdotykové měření	34
6.3	Teplota a elektromotory	34
7	VIBRODIAGNOSTIKA	35
7.1	Charakteristika vibrací	35
7.2	Veličiny popisující kmitavý pohyb	36
7.3	Systémy monitorování stavu.....	38
7.4	Snímače.....	38
7.4.1	Snímače zrychlení (akcelerometry)	39
7.4.2	Snímače výchylky a rychlosti.....	40
7.5	Umístění a připevnění snímačů.....	41
7.6	Hodnocení vibrací.....	41
8	ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU.....	45
8.1	Filtrování signálu	45
8.2	Analýza vibrací	45
8.2.1	Analýza časové vlny	45
8.2.2	Analýza ve frekvenční oblasti	46
8.2.3	Obálková metoda (Envelope)	46
9	ASYNCHRONNÍ MOTOR	49
9.1	Konstrukce motoru	49
9.2	Princip činnosti motoru.....	49
10	INTERPRETACE FREKVENČNÍHO SPEKTRA	51
10.1	Rezonance	51
10.2	Nevyváženost (nevývaha).....	52

10.3	Nesouosost.....	52
10.4	Poruchy elektromotoru	53
10.5	Ložiska	54
11	BOSCH DIESEL S.R.O. JIHLAVA.....	57
	PRAKTICKÁ ČÁST	59
12	SYSTÉM ÚDRŽBY VE FIRMĚ BOSCH DIESEL S.R.O.....	59
12.1	Prediktivní údržba	60
12.1.1	Diagnostika teploty	60
12.1.2	Diagnostika vibrací	60
12.1.3	Kruhový test	61
13	DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM	63
13.1	Objekty diagnostiky – motory zkušebních stanic.....	63
13.2	Prostředky diagnostiky	64
13.2.1	Senzor vibrací VSA005.....	64
13.2.2	Vyhodnocovací jednotka VSE100	65
13.2.3	Senzor teploty TS2229 s převodníkem	65
13.2.4	Efector Octavis	65
13.3	Realizace a umístění nastavení	66
14	PŮVODNÍ NASTAVENÍ PARAMETRŮ V EFECTOR OCTAVIS (EO).....	67
14.1	Nastavení vibrací.....	67
14.1.1	Nevývaha.....	67
14.1.2	RMS (v).....	68
14.1.3	a_eff 3,5-6k	68
14.1.4	Peak (a_max).....	68
14.2	Nastavení teploty	68
15	ANALÝZA A NOVÉ NASTAVENÍ PARAMETRŮ	69
15.1	Nevývaha.....	69
15.2	RMS (v).....	69
15.3	A_eff 3,5-6k	70
15.4	Peak (a_max).....	70
15.5	Bearings.....	70
15.6	Teplota.....	70
16	VYHODNOCENÍ.....	71
16.1	ML3	73
16.1.1	Motor 1	73
16.1.2	Motor 2.....	74
16.1.3	Motor 3.....	75
16.1.4	Motor 4.....	75
16.2	ML5	76
16.2.1	Motor 1	76
16.2.2	Motor 2.....	77
16.2.3	Motor 3.....	77
16.2.4	Motor 4.....	78
16.3	ML7	78
16.3.1	Motor 1	78
16.3.2	Motor 2.....	79
16.3.3	Motor 3.....	79

16.3.4 Motor 4	80
16.4 ML9	80
16.4.1 Motor 1	80
16.4.2 Motor 2	81
16.4.3 Motor 3	81
16.4.4 Motor 4	81
16.5 ML10	82
16.5.1 Motor 1	82
16.5.2 Motor 2	83
16.5.3 Motor 3	83
16.5.4 Motor 4	84
16.6 ML11	84
16.6.1 Motor 1	84
16.6.2 Motor 2	85
16.6.3 Motor 3	85
16.6.4 Motor 4	86
16.7 ML12	86
16.7.1 Motor 1	86
16.7.2 Motor 2	87
16.7.3 Motor 3	88
16.7.4 Motor 4	88
16.8 ML13	89
16.8.1 Motor 1	89
16.8.2 Motor 2	89
16.8.3 Motor 3	90
16.8.4 Motor 4	90
16.9 Shrnutí.....	91
17 VIZUALIZACE.....	93
18 ZLEPŠENÍ A DOPORUČENÍ.....	95
18.1 Zlepšení.....	95
18.2 Doporučení.....	96
19 ZÁVĚR.....	97
20 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	99
21 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	103
21.1 Seznam tabulek.....	103
21.2 Seznam obrázků.....	104

1 ÚVOD

V dnešním konkurenčním světě firmy mezi sebou soutěží v zajištění poměru kvalita – cena, myšleno tak, že se snaží dosahovat co nejvyšší kvality za relativně nízkou cenu. Základem zvyšování této kvality je především zjišťování požadavků zákazníků a jejich následné plnění. Nastavení výroby podle potřeb zákazníka přinese firmám větší prestiž, stálost a spokojenost zákazníků a tím zlepšení pověsti společnosti, která se šíří mezi další potenciální zákazníky.

Při samotné výrobě se kvalita zdokonaluje především zlepšením jednotlivých procesů a k tomu je nutné je sledovat, měřit, vyhodnocovat a neustále zlepšovat, což je vlastně zahrnuto i v normě ISO 9001. Výrobní procesy se zkvalitní nejen sledováním a měřením výstupů z procesu, ale také zaměřením na spolehlivost jednotlivých výrobních zařízení. Zlepšení spolehlivosti je navázáno na zlepšení pohotovosti, složené ze snahy dosáhnout vyšší bezporuchovosti, zlepšení udržitelnosti a zajištěním údržby strojů. Dalším atributem je také zvýšením výkonnosti, provozuschopnosti a spolehlivosti zařízení. Všechny tyto vlastnosti jsou zajišťovány a vyhodnocovány oddělením údržby.

Pozice údržby v hierarchii společnosti se během historie měnila a dnes se stává postupně z podpůrného procesu jedním ze základních. Styl jejího provádění také prošel vývojem z údržby po poruše, složené čistě jen z opravy stroje po jeho poruše, přes údržbu prováděnou v pravidelných intervalech, tedy preventivní, která měla poruchám předcházet. Dále se pak začala zařízení více sledovat a monitorovat, aby se zjistil jejich technický stav a údržba se prováděla, až se tento stav zhoršil nad určité meze. Tento typ preventivní údržby byl zdokonalen potřebou zjistit příčiny poruchy a odhadnout zbylou životnost zařízení, tedy predikovat budoucí stav stroje. Podkladem pro predikci jsou výsledky měření nebo neustálé sledování parametrů stroje, tedy jeho diagnostika. Celý vývoj byl poháněn snahou snížit a optimalizovat náklady, které vznikaly s nečekanými odstávkami strojů.

Jednotlivé typy údržby nemusí být prováděny samostatně, ale lze je kombinovat do komplexních přístupů jako je například komplexní produktivní údržba, která vznikla kombinací americké preventivní údržby a japonského smyslu pro dokonalost a kvalitu v podobě komplexního řízení kvality. Tento přístup se postupně od japonských firem dostal až k nám a často je velkými dodavateli vyžadován, čímž se postupně rozšiřuje i mezi menší firmy.

V této diplomové práci se zaměřuji především na seznámení s vývojem údržby v kapitole 2, dále pak s jednotlivými přístupy k údržbě, jejich vývojem a popisem v kapitole 2 a 4. Třetí kapitola je věnována novému pojmu tzv. Průmyslu 4.0, který je popisován jako čtvrtá průmyslová revoluce. Dále je představena technická diagnostika jako základ prediktivní údržby v kap. 5 obecně a v kap. 6 a 7 se zaměřuji na konkrétní typy diagnostiky. Od kapitoly 12 aplikuji teorii v praxi, kdy je popsán přístup k údržbě a její řešení ve firmě Bosch Diesel s.r.o.

2 ÚDRŽBA V PODNIKU

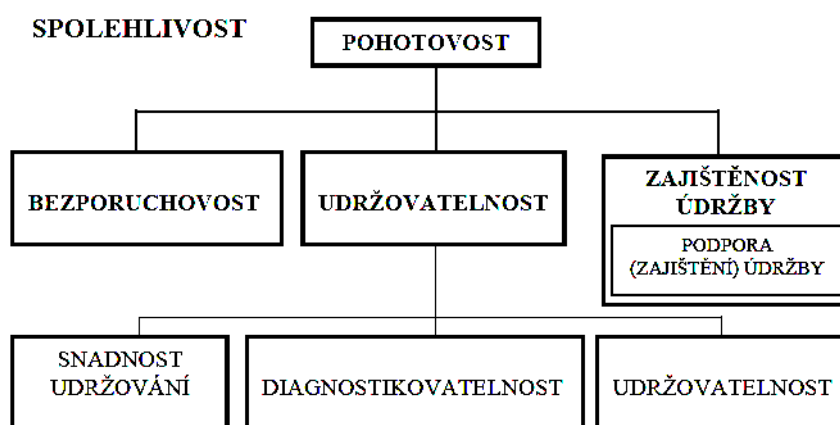
Dochází-li v podniku k významným změnám, jde vždy o dlouhodobou záležitost. Tyto změny ovlivňují především podnik jako celek, ale také jednotlivá oddělení a procesy. Mezi tyto procesy patří i údržba, jejíž postavení v rámci podnikové struktury se vlivem změn transformuje. I když je často údržba brána jako proces podpůrný, výrazně ovlivňuje produktivitu výroby. [1]

Údržba je dle normy ČSN EN 13 306 definována jako „kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření během životního cyklu objektu, zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho vrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci.“ [2]

Jak se údržba vyvíjela, měnila se postupně její úloha v podniku. Dříve šlo především o potřebu poškozené stroje opravovat, dnes se ale naopak dostává do popředí nutnost poškození strojů předcházet a zároveň zajistit jejich efektivní, spolehlivou a bezpečnou činnost, prevenci poruch a havárií. Hlavními cíli údržby je dosažení maximální produktivity a dále optimalizace výkonnosti stroje a zajištění bezpečného provozu zařízení minimálně po celou dobu jeho navrhované životnosti. Zvýšení využitelnosti stroje s minimálními odstávkami, snížení prostojů ideálně na nulu a proces neustálého zlepšování jsou metody zajištění těchto cílů. [1] [3] [4]

Postupem času se v rámci podnikové filozofie vyvinula myšlenka a potřeba vytvořit útvar, jež se bude zabývat výhradně správou hmotného majetku a jeho údržbou. Stejně jako jiné útvary bude i tento využívat procesního řízení, plánování, dostupných informačních technologií a dalších nástrojů vedení jako je týmové práce atd. [1]

Údržba má dle terminologie a norem přímou návaznost na spolehlivost a tedy i pohotovost (Obr. 1)), pod kterou spadají udržovatelnost a zajištěnost údržby. Bezporuchovost se hodnotí pomocí různých ukazatelů, udržovatelnost je popsána diagnostikovatelností, opravitelností a snadným udržováním, kam spadá mazání, čištění a seřizování. Zajištěnost údržby je pak spíše schopnost managementu údržby získávat a poskytovat zdroje pro funkci útvaru údržby a jeho činnosti. [5] [2]



Obr. 1) Vztahy mezi pojmy z oblasti spolehlivosti [6]

2.1 Vývoj údržby

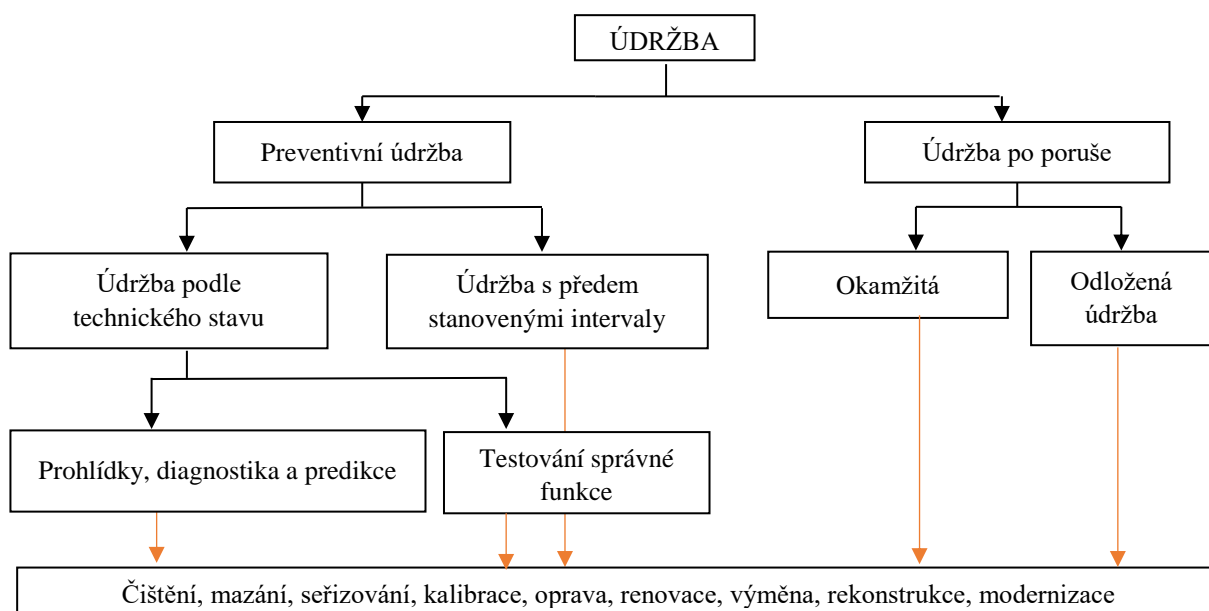
Údržba je spojená už s dobou, kdy si lidé začali nástroje vyrábět. Nejdříve šlo o nutnost si nástroj opravit, která se postupně vyvinula do potřeby práce s čistým a funkčním nářadím. Do druhé světové války se nijak na údržbu důraz nekladl, jelikož stroje byly předimenzované a tedy prakticky bezporuchové, případné poruchy se řešily operativně, až k nim došlo. Až zhruba do konce 40. let 19. století mluvíme o **1. generaci**, charakterizované tzv. **údržbou po poruše** neboli údržbou **reaktivní**. [1]

S rostoucí poptávkou a mechanizací výroby během druhé světové války se stroje stávaly poruchovější a začala se více sledovat a zkoumat jejich životnost, poruchovost a délky prostojů. Dostáváme se do 70. let a do tzv. **2. generace** charakterizované **preventivní údržbou**, kdy se začaly provádět pravidelné kontroly, prohlídky a opravy. [1]

Třetí generací dle Johna Moubraye je generace typická vývojem **prediktivní údržby**, kdy vzrostla nejen potřeba plánovaně a periodicky stroj kontrolovat a opravovat, ale i předcházet poruchám stroje odhadováním jeho budoucího stavu pomocí jeho sledování nebo na základě předchozích zkušeností. Jde o období největšího rozvoje různých analýz poruch a rizik. V dnešní době se začíná mluvit o **4. generaci** údržby spojené se 4. průmyslovou revolucí tzv. **Industry 4.0**. [1; 7]

2.2 Typy údržby

Typy údržby se vyvíjely postupně v závislosti na okolnostech. Nejstarším typem je **údržba po poruše**, neboli údržba reaktivní, jejíž výhodou je využití celého užitečného života stroje. Naopak nevýhodou jsou neplánované poruchy a případné dlouhé odstávky stroje. Dopadem jsou velké finanční ztráty a následné náklady na opravu, nákup dílů, případně i bezpečnostní rizika spojená s poruchou. Tento typ se dělí na údržbu okamžitou nebo odloženou (Obr. 2). [1]



Obr. 2) Dělení údržby [6]

Jak se zařízení začala vyrábět větší a složitější, stal se i jejich provoz nákladnější a vyvinula se údržba s pravidelnými prohlídkami a opravami nazývaná **preventivní**, jejímž cílem je poruchu předjít. Pravidelné prohlídky a revize je nutné definovat, buď odhadem četnosti

poruch vyjádřené např. střední dobou do poruchy atd., nebo jsou stanoveny výrobcem. Také se vyžívá základních vjemů, jako jsou sluch, zrak a hmat, kdy operátor stroje nebo údržbář sám dokáže ze zkušeností odhadnout, že se strojem není něco v pořádku. Se vzrůstající snahou zabráňovat neočekávaným poruchám a optimalizovat náklady na údržbu se v dnešní době rozvíjí následující dva způsoby údržby, a to **prediktivní** a **proaktivní údržba**. [1] [3]

Základními principy **prediktivní údržby** jsou diagnostika a monitorování stavu zařízení. Monitorováním se myslí dlouhodobější sledování jistých parametrů stroje a diagnostikou pak komplexní vyhodnocení stavu stroje a zařízení. Vzhledem k tomu, že stroj není opravován v pravidelných intervalech, ale pouze pokud opravu vyžaduje, je třeba znát jeho technický stav, jenž zjistíme právě aplikací těchto principů. Základem je správná informace ve správný čas, díky níž lze včas objednat náhradní díly, naplánovat odstávku stroje, zajistit personál na opravu nebo výměnu součástí zařízení. Nejen, že zvýšíme životnost stroje a jeho bezpečnost, předejdeme nehodám a haváriím, ale také optimalizujeme hospodaření s náhradními díly, především snížíme náklady na jejich skladování. [3]

Údržba **proaktivní** jde ještě více do hloubky a rozšiřuje preventivní údržbu. Jejím základem je zjišťování příčin vzniku poruch pomocí technické diagnostiky.

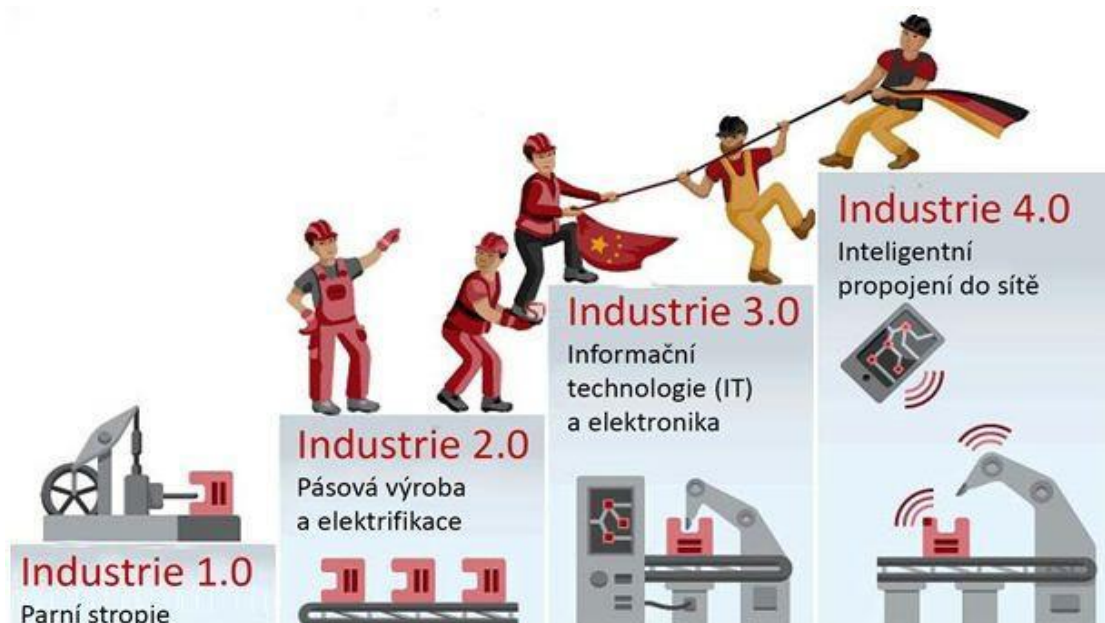
Existují další moderní přístupy k údržbě tzv. komplexní systémy jako např. **TPM** – **Total Productive Maintenance** neboli komplexní produktivní údržba nebo **RCM** – **Reliability Centered Maintenance**, v češtině údržba zaměřená na bezporuchovost. Na TPM jsem se zaměřila v kapitole 4.

3 INDUSTRY 4.0

Český název Průmysl 4.0, 4. generace údržby nebo také čtvrtá průmyslová revoluce je souhrnný pojem používaný pro tři vzájemně propojené a navzájem se ovlivňující faktory [8]:

- digitalizace a integrace jednoduchých i komplexních výrobně – obchodních vztahů a řetězců;
- digitalizace produkce a nabídky služeb;
- nové obchodní modely.

Při pohledu do historie (Obr. 3)) víme, že s první průmyslovou revolucí začala mechanizace závodů, s druhou jejich elektrifikace a dělba práce. Se třetí průmyslovou revolucí přišla automatizace výrobních procesů a to asi v polovině 70. let minulého století a probíhá dodnes. Mezi lety 2013 až 2015 se postupně začíná objevovat termín Industry 4.0 (I4.0) nebo také Průmysl 4.0, který je legalizován v roce 2016. Jeho průkopníky jsou Německo, Francie a USA. [9]



Obr. 3) Vývoj jednotlivých průmyslových revolucí a jejich charakteristik [10]

Základem I4.0 je transformace produktů do kyberneticko-fyzikálního systému. Už v dnešní době nás obklopují tzv. SMART THINGS neboli inteligentní výrobky jako telefony, tablety, televize a další, které využívají a kombinují veškeré znalosti z různých technických oblastí. Ve výrobním průmyslu se tomu blíží právě automatizace strojů a linek využívající informační a komunikační systémy (ICT). Budoucností a tedy prvkem I4.0 je ale tzv. **Internet věcí** (IoT), tedy propojení a sdílení informací přes Cloud a Internet. [9]

Velkou změnou oproti současnému systému řízení je především **decentralizace**. V dnešní době jsme zvyklí na postup, že se vše shromažďuje k vedení oddělení či organizace, které následně rozhoduje a posílá svá rozhodnutí do jednotlivých oblastí a pododdělení, tedy tzv. centralizovaný přístup. S rozvojem technologií, digitalizace a kybernetiky bude docházet k propojení výrobních strojů s internetem. To v praxi zjednodušeně znamená, že si stroj sám

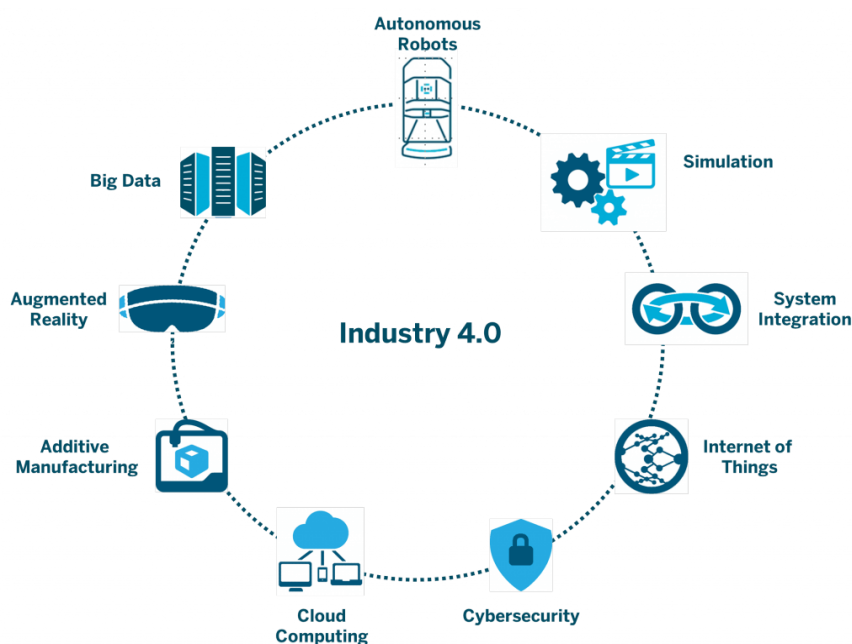
přijme objednávku od zákazníka a výrobek vyrobí, a ideálně pomocí internetu zkontaktuje i ostatní stroje pro výrobu potřebných součástí. [9]

Základem pro tuto komunikaci je již zmíněný kyberneticko-fyzikální svět a systémy (CPS), do kterého spadají všechny věci ve výrobě jako materiál, stroje, roboti a snímače, dopravníky atd. Tyto objekty spojuje právě IoT díky němuž jsou schopni komunikovat. Z hlediska údržby popisují některé firmy IoT jako vizi, kdy stroj sám předvídá selhání a autonomně spustí procesy údržby dříve, než aby se spoléhal na zásah pracovníky údržby. [9]

IoT propojuje lidi, procesy a data. Pomocí tabletů, smart-phonů a softwaru v nich se usnadní přístup k datům a jejich vizualizaci, která pomůže v efektivnějším a rychlejším řízení procesů. Pro získání dat je nutné spojení se snímači či skenery tzv. RFID, identifikátory na produktech, což přinese obrovské množství tzv. Big Data, jež budou vyžadovat vyšší úroveň analýzy. Právě RFID je jedním ze šesti trendů údržbové revoluce Údržba 4.0, který je inteligentním prvkem umístěným na produktech obsahující veškeré informace o jeho historii. K dalším patří [9]:

- **E-údržba** – verifikace údržby a dat ze strojů pomocí sdílené platformy
- **RFID** – technologie pro řízení materiálu, pracovníků a logistiky s daty sdílenými přes cloud
- **Rozšířená a virtuální realita** – spojení virtuálního a reálného světa a zobrazování pomocí vizualizací dat
- **Vizualizace** – zobrazení dat např. pro identifikování slabých míst a následné rychlé vyhodnocení stavu
- **Asistenční systémy** – především diagnostičtí asistenti pro zjednodušení a urychlení interpretace dat
- **Sdílení znalostí a síťování** – rychlejší přístup k informacím komukoli ve firmě

Základní prvky Průmyslu 4.0 jsou na Obr. 4)



Obr. 4) Základní prvky Průmyslu 4.0 [11]

4 TPM - TOTÁLNĚ (KOMPLEXNÍ) PRODUKTIVNÍ ÚDRŽBA

TPM je komplexní systém řízení údržby. Podstatu TPM vystihuje vysvětlení prvních dvou slov, kdy **totální** má shrnout fakt, že tento systém údržby je zaveden napříč celou organizací od operátorů na strojích po vrcholové vedení, tedy jsou vtaženi všichni zaměstnanci, nezávisle na oddělení nebo úrovni managementu. Druhé slovo **produktivní** už samo o sobě naznačuje fakt, že tento systém by měl přispívat ke zvýšení produktivity výroby. Jde tedy o moderní způsob řízení podniku a údržby výrobních strojů a zařízení, do kterého je zapojena celá organizace, které přispívá k růstu produktivity výroby a podniku. [1]

TPM se vyvinula v Japonsku v 70. letech minulého století a za jejího otce je považován Seichi Nakajima, který studoval v USA a v Evropě preventivní údržbu. Následně tento typ spojil s japonským konceptem TQM (Total Quality Management), tzn. komplexní řízení kvality, a dal za vznik TPM. TQM prosazuje především orientaci na kvalitu výrobku, na zákazníka a jeho uspokojení, na zavedení procesu neustálého zlepšování a na provázanost těchto přístupů celým podnikem. Právě tyto principy se objevují i v TPM. [1]

Cílem TPM je zajistit maximální efektivitu zařízení po celou dobu jeho života, minimalizaci poruch, prostojů a vzniku neshodných kusů. Do centra pozornosti se dostává rozhraní **člověk – stroj – pracoviště**, kdy si lidé často neuvědomují, že kvalitní výrobky lze vyrobit pouze na kvalitních strojích a o ty je třeba pečovat. Jelikož je operátor stroji nejbližší a tráví s ním nejvíce času, je strategií TPM vypěstovat v něm vztah k tomuto stroji a poskytnout mu řádné proškolení v oblasti údržby a drobných oprav, aby byl schopný poruchy odhalovat dříve a zároveň ty drobné z nich i opravit. Není tedy nutné ke všemu volat pracovníka údržby, čímž se proces opravy výrazně zrychlí a nedochází k prostojům. Naopak expertní pracovníci údržby se pak věnují větším opravám a složitějším údržbám na strojích, které jsou předem naplánovány a předepsány v plánech údržby. [1] [4]

Zavedením TPM dochází k celkové přeměně organizace a její kultury tím, že pozměníme nejprve pracovní prostředí, což má vliv na samotnou práci jednotlivých operátorů ale i údržbářů. Tento vliv se postupně projeví změnou jejich přístupu k práci. Pomocí malých krůčků se pak mění celá kultura podniku. Je to neustále se vyvíjející proces, který mění náhled na spolupráci oddělení údržby, výroby a dalších útvarů, kteří se podílejí na bezchybném chodu výrobního procesu. [1] [4]

4.1 Pilíře TPM

Principy TPM byly popsány pěti tzv. pilíři:

- hodnocení celkové efektivnosti zařízení a strojů,
- autonomní údržba,
- plánovaná údržba,
- systém pro návrh preventivní údržby a včasný management zařízení,
- trénink pro zlepšení zručnosti pracovníků.

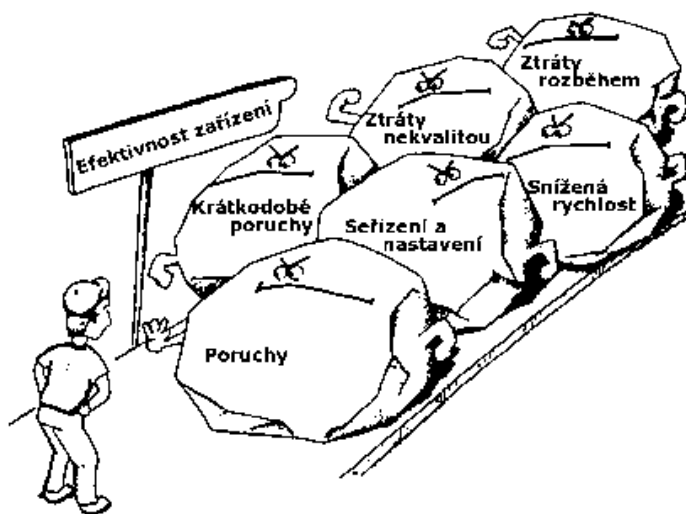
Později bylo těchto pět pilířů rozšířeno na osm vlivem rozvoje techniky:

- autonomní údržba,
- preventivní, plánovaná a prediktivní údržba,

- neustále zlepšování zařízení a procesu (KAIZEN),
- vzdělávání a trénink,
- pořizování nového zařízení (LLC – Life cycle costings – náklady na životní cyklus),
- 5S v administrativě,
- kvalita, bezpečnost a prostředí,
- materiálový tok.

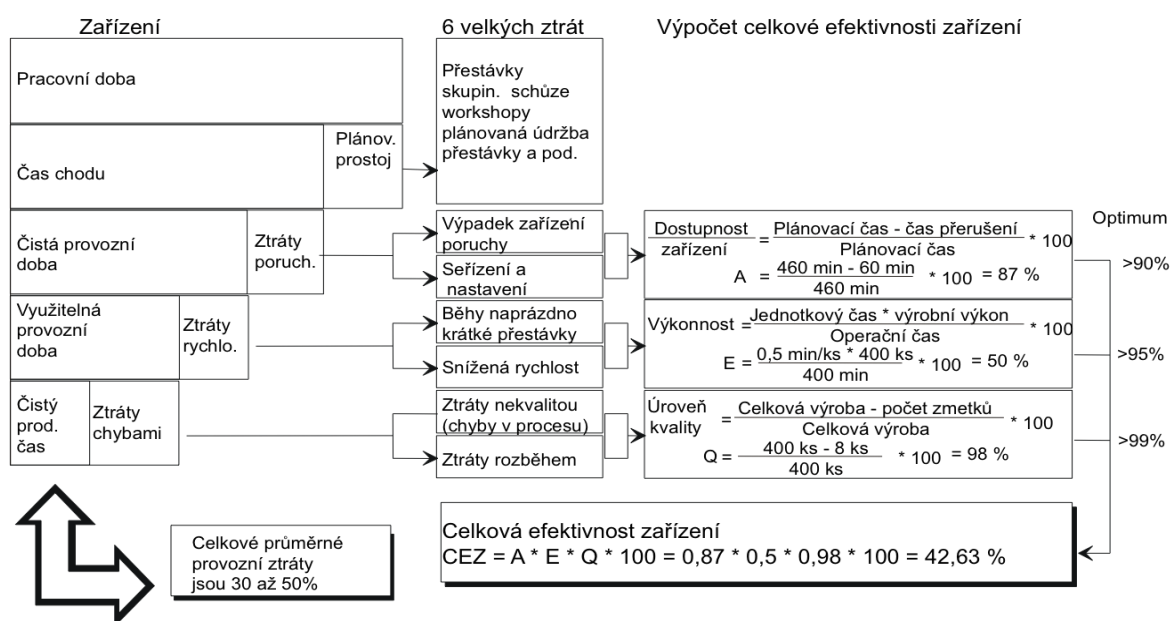
4.1.1 Hodnocení celkové efektivity zařízení (CEZ)

CEZ je funkcí ztrát způsobených poruchami, snížením výkonu vlivem redukce rychlosti stroje, času seřizování stroje a též nízkou kvalitou vyrobených dílů. Bylo definováno tzv. šest velkých ztrát, které ovlivňují výpočet CEZ. Tyto ztráty jsou na Obr. 5). [1]



Obr. 5) 6 velkých ztrát [12]

Na dalším obrázku (Obr. 6)) je návaznost těchto ztrát na dané zařízení, jeho pracovní dobu a následně výpočet ukazatele CEZ.



Obr. 6) TPM (Totálně produktivní údržba) [12]

Hodnocení CEZ dle Obr. 6) je dáno vztahem:

$$CEZ = A \times E \times Q \quad (1)$$

kde: A – součinitel pohotovosti

E – součinitel výkonnosti

Q – součinitel kvality

Vpravo na Obr. 6) je také uvedena v procentech optimální hodnota jednotlivých součinitelů. Pro celkovou efektivitu zařízení by tato hodnota měla být více než 79%. [1]

Dále lze z obrázku vyčíst, že **pohotovost** zařízení je dána poruchami, jejich následnými opravami a seřízením stroje. **Výkonnost** pak zohledňuje ztráty vlivem snížené rychlosti a běhů naprázdno. V neposlední řadě **součinitel kvality** nám udává zmetkovitost, tedy procento neshodných kusů. [1]

4.1.2 Autonomní údržba

Autonomní znamená samovolný nebo nezávislý, v tomto případě jde samoúdržbu stroje jeho obsluhou, která vzhledem k tomu, že na stroji pracuje, dokáže díky zkušenostem a využitím základních vjemů mnoho závad na stroji odhalit. Po zaškolení jsou navíc schopni dané závady i sami opravit, čímž se prohlubuje vztah operátor – stroj. [1]

Mezi běžné činnosti obsluhy patří nejen dodržení pracovního postupu daného stroje, ale i drobná údržba jako čištění, mazání součástí, vizuální a poslechová kontrola a popř. menší opravy. Právě pravidelným čištěním a mazáním lze předejít vzniku poruch. [1]

4.1.3 Plánovaná údržba

Převodem některých činností z pracovníků údržby na operátory, vzniká čas a prostor pro vytvoření plánů údržby zaměřující se především na údržbu preventivní. Jejich práci jim usnadní:

- Informační management – dostupnost informací o stroji je základem k plánování údržby na něm. Víme-li, jaké poruchy na stroji byly, jak a kdy byly opraveny, jaké náhradní díly byly použity a jaká maziva, dostává se nám dostatek informací pro odhad budoucích nutných oprav, které jde oddálit naplánováním preventivních kontrol.
- Management náhradních dílů – jeho úkolem je zajištění Just-in-time, tedy správný díl ve správný čas. Spočívá v objednávání, skladování, výdeji a optimalizaci počtů náhradních dílů na skladě.
- Řízení nákladů – jedním z měřítek úspěchu zavedení TPM, protože se zvyšujícím se CEZ a zlepšujícím managementem náhradních dílů, dochází ke snižování nákladů.
- Preventivní údržba – hlubší kontrola stroje pracovníky údržby, na kterou už operátoři nestačí. Během této kontroly může dojít k výměnám součástí, čímž se prodlouží životnost zařízení.
- Údržba po poruše – jde především o zajištění jasného postupu při poruše a včasné opravy spojené se zjištěním příčin vzniku dané poruchy.
- Prediktivní údržba – po provedení plánovaných preventivních prohlídek a zjištění poruch, lze pomocí diagnostiky zjistit příčiny jejich vzniku a tomuto vzniku zabránit nebo ho oddálit.

- Plánování údržby – výstupem z předchozích bodů je sestavení plánu údržby se zaznačenými preventivními údržbářskými zásahy, čímž dojde ke zvýšení efektivnosti a kvality údržby. [1]

4.1.4 Systém pro návrh preventivní údržby a včasný management zařízení

Podstatou tohoto pilíře je aplikace již vytvořených, ale dle druhu stroje přizpůsobených, plánů kontrol a celého systému údržby na nová zařízení. Tím lze odhadnout další náklady na životní cyklus stroje již při jeho koupi a užívání je efektivnější. [1]

4.1.5 Trénink pro zlepšení zručnosti pracovníků

Základem TPM je především seznámení všech zaměstnanců s celým konceptem a filozofií. Následně jsou prohlubovány znalosti především operátorů strojů, jak již bylo zmíněno, a to nejen s údržbou prováděnou na stroji, ale i s informačními systémy a diagnostikou. K tomu je třeba dovzdělat pracovníky v oblasti chemie, fyziky nebo statistiky. [1]

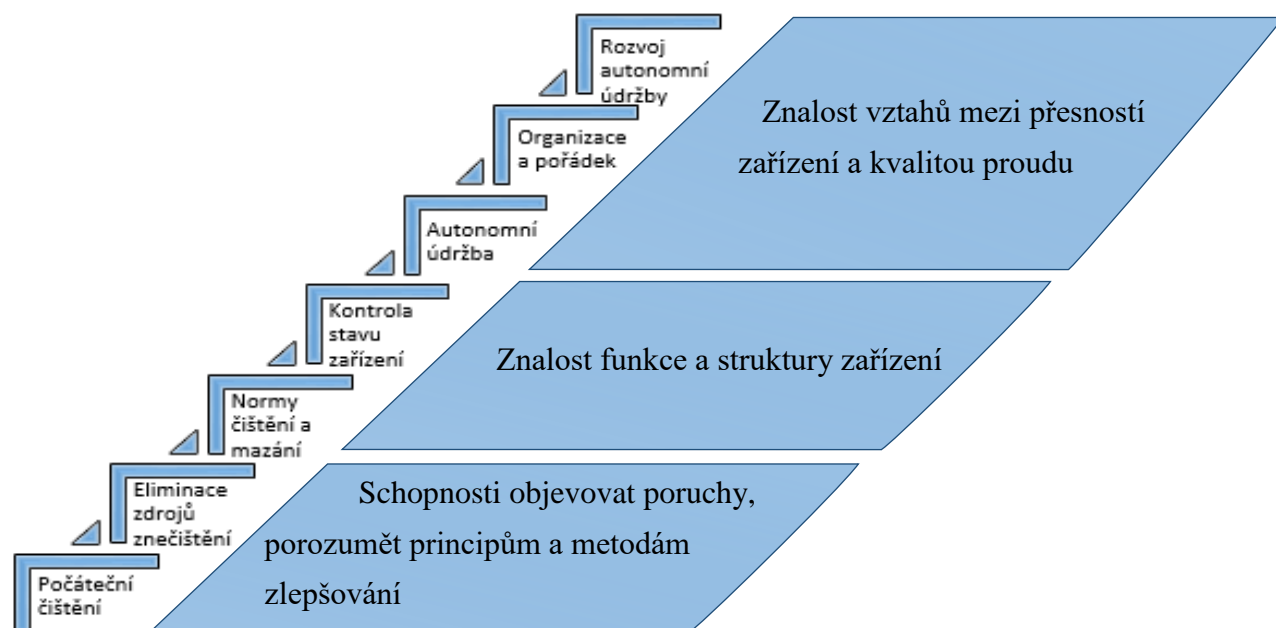
4.2 Vizuální management

Vizuální management je nástrojem TPM, kdy je vše důležité vystaveno lidskému oku. Na strojích a pracovištích jsou umístěny kartičky, nápisy, postupy, tabulky a obrázky, které mají nabídat a pomáhat pracovníkům udržovat své pracoviště čisté, uspořádané a organizované. Má zaměstnance motivovat, řídit, učit a informovat o všem podstatném, čímž ho zařazuje do celoorganizačního koloběhu a napomáhá tím k rozvoji TPM. [1]

4.3 Zavádění TPM

Implementace TPM probíhá ve čtyřech krocích [1]:

- Přípravná fáze - asi 3-6 měsíců a jejím znakem je seznámení vyššího managementu s ideologií TPM prostřednictvím kurzů a přednášek, školících seminářů a prezentací. V tomto období jsou vytvořeny organizace TPM, které stanoví politiku, vizi, cíle a implementační plán. Nakonec jsou jednotlivá oddělení a poté i jednotliví pracovníci se vším obeznámeni.
- Předběžná implementace - V tomto období je nutné o změně informovat dodavatele, zákazníky, partnerské a sesterské firmy.
- Implementace TPM - Samotná implementace probíhá v několika krocích odpovídajících pilířům TPM, kdy vybereme pilotní testovací zařízení a nejdříve se snažíme zvýšit jeho výkonnost, následně implementujeme autonomní údržbu pomocí 7 kroků definovaných v Obr. 7), sestavíme program plánované, preventivní a prediktivní údržby. Následuje trénink operátorů, vytvoření časových plánů managementu zařízení a na závěr vytvoření standardů.
- Stabilizace a zlepšování - Po zavedení TPM dochází k jeho stabilizaci a zvykání si zaměstnanci na nový přístup k práci a řízení. Stejný postup je aplikován na každé nové zařízení a postupně jsou zjišťovány a vyhodnocovány výsledky implementace a popřípadě i zvyšovány cíle.



Obr. 7) Zavedení autonomní údržby [1]

4.4 Přínosy

Zavedením TPM roste především konkurenceschopnost celého podniku a to zvyšováním kapacity výrobního zařízení, snížením poruchovosti během prvních dvanácti měsíců a zkrácení výrobních časů. S tím souvisí růst efektivnosti zařízení, zlepšení procesů a jejich bezpečnosti, zvyšování motivace pracovníku, zlepšování týmové práce a kvalifikace zaměstnanců, snížení nákladů na údržbu a opravy a tím i nákladů celého podniku. [1]

5 DIAGNOSTIKA A MONITOROVÁNÍ

Technická diagnostika je samostatný vědní obor zabývající se většinou bezdemontážními a nedestruktivními metodami a prostředky pro stanovení technického stavu stroje. Vždy je nutné zvolit a měřit diagnostickou veličinu, která charakterizuje stav stroje jako např. teplotu, vibrace nebo proud. Vyhodnocení technického stavu zařízení pak záleží na tom, nakolik velikost technických parametrů splňuje podmínky, jako jsou velikost a trend. [13]

Slovo diagnostika vychází ze slova diagnóza, což je analýza okamžitého technického stavu objektu, neboli vyhodnocení provozuschopnosti tohoto objektu za daných provozních podmínek. Diagnóza má několik základních úloh a to **detekci, lokalizaci, specifikaci a predikci**, kdy je nejdříve odhalena přítomnost poruchy, následně přesně lokalizováno místo jejího vzniku, stanovena příčina vyhodnocením diagnostického signálu a zhodnocení zbytkové životnosti, která ovlivňuje plánování a řízení údržby. [13]

Technická diagnostika se dělí podle několika hledisek a to dle účelu, použitých diagnostických prostředků, způsobů realizace nebo stupně automatizace atd. Klasifikujeme diagnostiku **provozní, dílenskou a výzkumnou**, kde provozní zahrnuje ještě diagnostiku funkční. [13]

Provozní diagnostika využívá všechny dostupné provozní parametry, které pomohou zhodnotit stav stroje za provozu. U drahých zařízení se využívá online systémů s velkými databázemi a popřípadě i softwaru pro následnou analýzu. Problematice se věnuje norma ČSN ISO 17359 – Monitorování stavu a diagnostika strojů – Obecné pokyny, která zobrazuje tabulku ukazující, jak souvisí jednotlivé provozní parametry a veličiny se vzniklými a zjištěnými závadami. Jak lze vidět níže v Tab 1), nejčastějšími zdroji závad jsou vibrace a změny proudu, které vysvětlují sedm z devíti závad, a pak teplota. [13]

Tab 1) Příklad přiřazení závad elektromotoru měřeným parametrům a metodám [14]

	SYMPTOM NEBO ZMĚNA PARAMETRU												
PŘÍKLADY ZÁVAD	Proud	Napětí	Odpor	Částečné výboje	Výkon	Krouticí moment	Otáčky	Vibrace	Teplota	Doba do běhu	Axiální magnetický tok	Znečištění oleje	Chladicí plyn
Rotorové vinutí
Statorové vinutí
Excentrický rotor		
Závada kartáčů				
Poškození ložiska	
Zhoršení izolace	.	.											.
Ztráta napájecí fáze	.							.			.		
Nevyváženost								.					
Nesouosost								.					
• Označuje, že se může vyskytnout symptom nebo změna parametru, když se vyskytne závada													

Podle analyzované veličiny rozlišujeme několik druhů diagnostiky, jako je **tribodiagnostika, termodiagnostika, ultrazvuková diagnostika, elektro-diagnostika** sledováním elektrických veličin, **vibrodiagnostika** atd.

5.1 Diagnostický systém

Diagnostický systém je soubor všech potřebných prostředků k realizaci diagnostiky a je tvořen:

- objektem diagnostiky,
- diagnostickými zařízeními (prostředky),
- diagnostickými metodami,
- lidským činitelem - obsluhou. [15]

Diagnostikovaný objekt, tedy hlavní předmět diagnostiky a námi sledovaný objekt, je obklopen diagnostickým pozadím, které je souborem interakcí a vlivů působících na diagnostický objekt a lze ho vyjádřit doplňkovými veličinami. Patří sem např. teplota, tlak a vlhkost okolí atd. Diagnostickými prostředky jsou veškeré měřicí přístroje a zařízení, jako senzory a převodníky, dále ale i softwary na zpracování a vyhodnocení dat. [15]

5.2 Diagnostické informační systémy

Tyto systémy sbírají, třídí a vyhodnocují informace o technickém stavu diagnostikovaného objektu a to v reálném čase. Slouží pak především managementu, marketingu, výrobě a dalším oblastem při rozhodování a řízení např. kvality, spolehlivosti, bezpečnosti či ochraně životního prostředí. [15]

6 TERMODIAGNOSTIKA

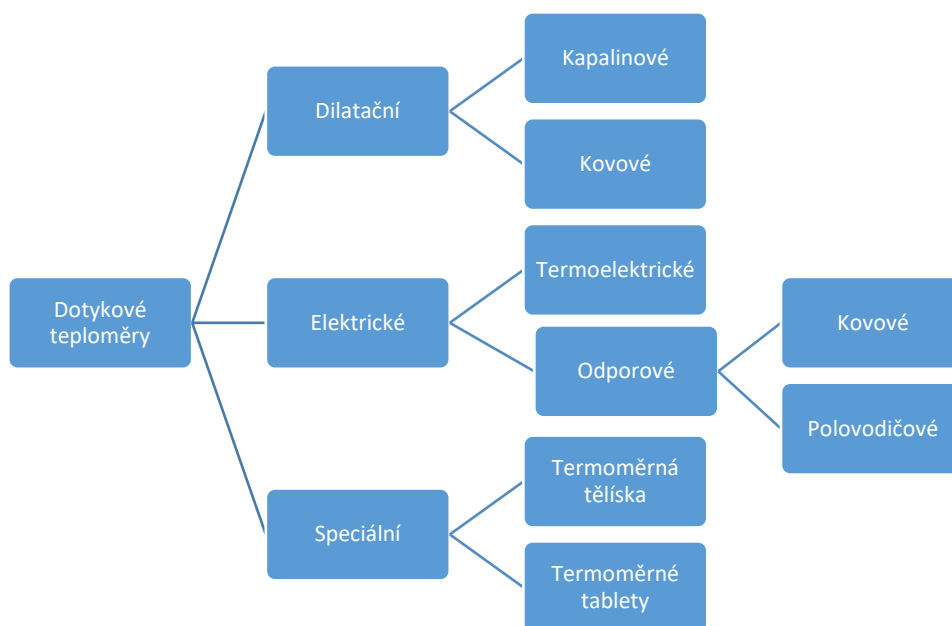
Termodiagnostika je i věda o diagnostice teploty, což je jedna ze stavových veličin, která charakterizuje termodynamický stav systému. Teplota patří ke stavovým veličinám vnitřním společně s tlakem nebo hustotou. [5]

Teplotu lze měřit v několika stupnicích, Kelvinově, Celsiově, Fahrenheitově atd. a dvěma způsoby, a to dotykově nebo bezdotykově [5]:

- **Kelvinova stupnice** je tzv. absolutní teplotní stupnice, protože se její začátek nachází v absolutní nule. Dalším významným bodem je trojný bod vody odpovídající 273,16K, kde K je značka pro základní jednotku této stupnice a tedy Kelvin. Teplotu v Kelvinech získáme z Celsiovy přičtením 273,16 k hodnotě teploty ve °C.
- **Celsiova stupnice** má jako základní jednotku stupně Celsia °C a má definované dva základní body a to 0°C, jako rovnovážný stav čisté vody a jejího ledu při normálním tlaku, a 100°C, jako rovnovážný stav čisté vody a její syté páry také při normálním tlaku.
- **Fahrenheitova stupnice** je též definována dvěma body a to 0°F, o které se vědec domníval, že směs vody, ledu a chloridu amonného je nejnižší uměle vytvořitelná teplota. Druhým bodem je teplota zdravého lidského těla 96°F, což ale odpovídá 32 °C.

6.1 Dotykové měření

Jde o měření, kdy je senzor připevněn nebo se dotýká námi měřeného objektu a využívá se tak principu přenosu tepla mezi dvěma objekty. Dotykové teploměry lze dále dělit dle Obr. 8) [5]:



Obr. 8) Dělení dotykových teploměrů [5]

U elektrických strojů se nejčastěji používají elektrické odporové senzory, termoelektrické články nebo teploměrné indikátory. [5]

- **Odporové senzory** mohou být kovové nebo polovodičové. Jde-li o kovové, pak odpor v závislosti na vzrůstající teplotě vzrůstá, jsou-li ale polovodičové, tak je závislost opačná. Polovodičové senzory lze dále dělit na negastory a pozistory v závislosti na záporném nebo kladném teplotním součiniteli odporu.
- **Termoelektrické senzory** neboli termočlánky pracují na termoelektrickém principu, kdy se změnou teploty na spoji dvou kovů změní i vznikající termoelektrické napětí, které lze měřit. Dělají se v několika provedeních i kombinacích kovů.
- **Teploměrné indikátory** mění svůj tvar nebo barvu v závislosti na teplotě. [5]

6.2 Bezdotykové měření

Bezdotykové nebo také bezkontaktní měření je založené na principu elektromagnetického záření, jež všechny objekty při teplotě vyšší než absolutní nula vyzařují. Nejčastěji jde o záření infračervené, rozléhající se přibližně mezi teplotami $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, které je přivedeno na detektor, kde je zpracováno a následně zobrazeno na displeji jako číselný údaj nebo termogram. Měřicí zařízení lze dělit na dvě skupiny infračervené teploměry neboli pyrometry a infračervené termokamery. [5]

- **Pyrometry** lze rozdělit na širokopásmové a úzkopásmové na základě rozsahu vyhodnocených vlnových délek a také podle druhu tepelných senzorů pro detekci, kterými mohou být termočlánky nebo kvantové detektory.
- **Termokamery** snímají teplotní pole a měří rozložení teploty na povrchu objektu, které zobrazují pomocní termogramu o určité barevné škále odpovídající teplotám. Využívají se pro diagnostická a inspekční měření jako prevence poruchových stavů např. motorů nebo elektrických rozvodů. [5]

6.3 Teplota a elektromotory

Bylo vysvětleno, co je termodiagnostika a jak se měří, ale je důležité vědět, jaký je vliv teploty na elektromotory při jejich funkci, tedy při provozních podmínkách. V našem případě máme v praktické práci 32 stejných motorů s izolační ochranou třídy F, což znamená, že izolační systém motoru je dimenzován musí minimálně na teplotu $155\text{ }^{\circ}\text{C}$. Často je takto chráněn motor, ale ostatní části ne, a tak může docházet k jejich opotřebení. Vnikem poruchy a její přítomností dochází na elektromotoru ke ztrátám, protože se část elektrické energie přeměňuje na tepelnou a to způsobí změnu teploty. [16]

Měřením těchto teplot pak lze odhalit vniklé poruchy, kterými jsou nejčastěji poškozené vinutí statoru či rotoru, porušení izolačního systému oslabením izolačního odporu, nebo závady na chladicím systému. [17]

7 VIBRODIAGNOSTIKA

Sledováním vibrací rotujících částí strojů získáváme zásadní informace o provozním a technickém stavu stroje, s jehož znalostí lze lépe zabezpečit strategické plánování a řízení údržby. Na rozdíl od dynamických zkoušek, kterých se využívá například při přejímkách, je pro monitorování charakteristický sběr dat, která mohou být následně vyhodnocována za dané časové období, čímž zjistíme spíše dynamické chování stroje. [13]

Výhodou měření vibrací rotačních strojů je návaznost na dynamické namáhání a změny stroje a možnost díky němu zjistit stav ložisek, převodovek, spojek, nevyváženost či nesouosost stroje, opotřebení a trhliny na důležitých komponentech atd. Proto je také vibrodiagnostika, tedy sledování a vyhodnocování vibrací, základní metodou technické diagnostiky. [13]

Základními normami popisujícími vibrodiagnostiku jsou:

- ČSN ISO 13 373-1 - Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 1: Obecné postupy
- ČSN ISO 13 373-2 - Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 2: Zpracování, prezentace a analýza vibračních dat
- ČSN ISO 13 373-3 - Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 3: Základní metody diagnostiky
- ČSN ISO 10816-1: Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice.

Signál o vibracích nese informace o příčině vibrací a jeho následnou analýzou různými metodami lze odhalit vznikající nebo už rozvíjející se závadu. V Tab 1) lze vidět, že u rotačních strojů jsou vibrace nejčastějším projevem velkého množství závad. Obecnou příčinou vibrací jsou tolerance a nepřesnosti při výrobě a montáži jednotlivých komponent stroje, dále jejich deformace vlivem nedostatečné tuhosti a nevhodné provozní podmínky. [3] [15] [18]

V dalších kapitolách jsou charakterizovány vibrace, veličiny, které je popisují, vhodné snímače vibrací, možnosti zpracování signálu a jeho vyhodnocení dle norem zmíněných výše.

7.1 Charakteristika vibrací

Charakter vibrací závisí na druhu působících budících sil a ty jsou **periodické, impulsní a náhodné**. **Harmonická** síla je nejjednodušším příkladem periodické síly, ale v praxi se s ní v čisté formě příliš nesetkáme. Naproti tomu součtem harmonických sil již lze vyjádřit mnoho skutečných sil působících na rotační stroje. [13]

Harmonická síla působící na pružné těleso se vyjádří rovnicí (2) a způsobí pohyb tělesa se stejnou kruhovou frekvencí ω , ale obecně jinou amplitudou, čemuž se říká vynucené kmitání a jeho výchylku lze vyjádřit rovnicí (3):

$$f(t) = F \cdot \sin(\omega t + \varphi_F) \quad (2)$$

kde F – amplituda budící síly [N]

ω – kruhová frekvence budící síly [rad/s]

t – čas [s]

φ_F – počáteční fázový posun budící síly

$$x(t) = X \cdot \sin(\omega t + \varphi_F - \varphi) \quad (3)$$

kde X – amplituda vynuceného kmitání

φ – zpoždění výchylky za budící silou

Druhým typem je budící síla **impulzní**, která způsobí vychýlení tělesa z jeho rovnovážné polohy a následně volné kmitání na násobcích vlastní frekvence. Příkladem jsou záměrná rázová buzení v podobě modální zkoušky a nezáměrná rázová buzení objevující se při závadách valivých ložisek. Posledním typem je budící síla **náhodná**, která způsobí i následné náhodné odezvy na různých, i vlastních frekvencích. [3] [18]

7.2 Veličiny popisující kmitavý pohyb

Pohyb kmitajícího tělesa o hmotnosti m a tuhosti k , způsobený vychýlením z rovnovážné polohy, lze popsat výchylkou (4), rychlostí (5) a zrychlením (6), jež jsou na sebe matematicky vázané. Při zanedbání tlumení, kmitá těleso vlastní frekvencí $\omega = \sqrt{k/m}$. [3]

Bereme-li periodické kmitání, tedy kmitání, kdy se pravidelně opakuje stejný časový průběh po stejnou dobu zvanou perioda, a jeho nejjednodušší formu, **kmitání harmonické**, pak je výchylka dána vztahem (4):

$$x(t) = x_a \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

Kde x_a – amplituda harmonického kmitání [m]

ω – vlastní kruhová frekvence [rad/s]

φ – počáteční fázový úhel

Rychlost vypočteme první derivací výchylky v čase podle (5):

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = x_a \cdot \omega \cdot \cos(\omega t - \varphi) \quad (5)$$

Zrychlení získáme druhou derivací dráhy podle času, první derivací rychlosti dle (6):

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -x_a \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (6)$$

V praxi se více než kruhová frekvence používá frekvence f v hertzech, což je počet celých cyklů za sekundu dle (7)

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad [\text{Hz}] \quad (7)$$

A její převrácená hodnota vyjadřující periodu T je dána (8) jako:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad [\text{s}] \quad (8)$$

K popisu harmonického i neharmonického signálu se v technické praxi častěji používají další charakteristiky definované na Obr. 9). [3] [13]

a) Efektivní hodnota (RMS - Root Mean Square)

Je vyjádřením průměrného výkonu měření veličiny, pro harmonické kmitání je dána vztahem (9) a pro neharmonické vztahem (10)

$$x_{ef} = 0,707 \cdot x_a \quad (9)$$

$$x_{ef} = x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2 dt} \quad (10)$$

b) Střední hodnota

Té se využívá mnohem méně, pro harmonické kmitání je dána vztahem (11) a pro neharmonické (12)

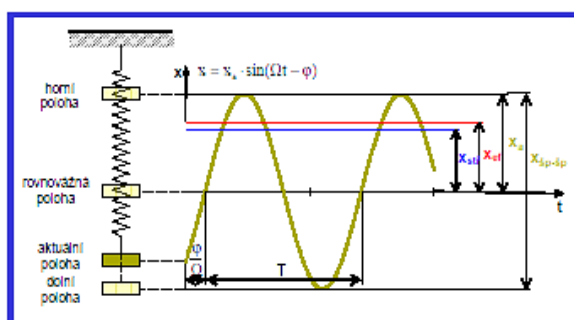
$$x_{stř} = 0,637 \cdot x_a \quad (11)$$

$$x_{stř} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| dt \quad (12)$$

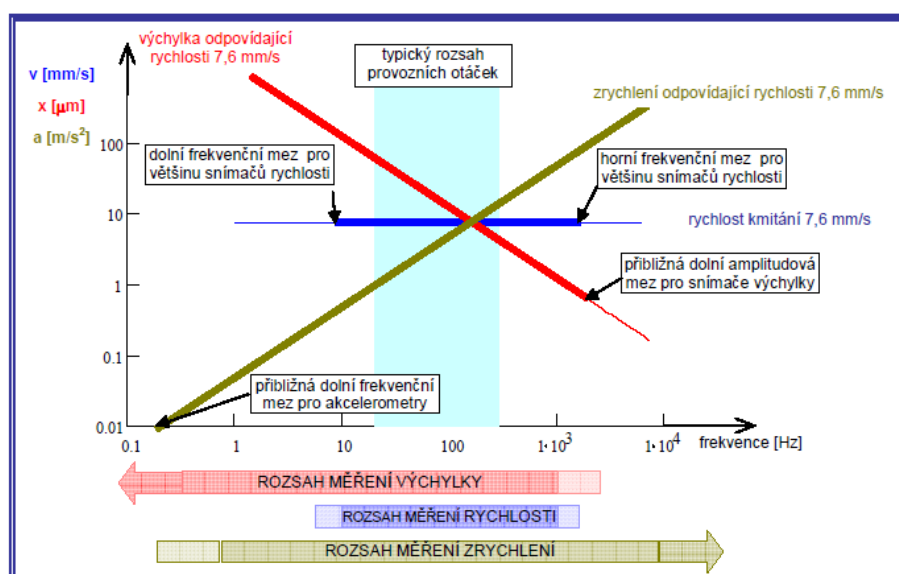
c) Rozkmit (velikost špička-špička)

je dá vztahem (13)

$$x_{šp-šp} = 2 \cdot x_a \quad (13)$$



Obr. 9) Veličiny popisující kmitavý pohyb [3]



Obr. 10) Omezení při měření [3]

Zkušený diagnostik musí zvolit vhodnou diagnostickou veličinu a také její parametry (např. frekvenční rozsah u senzorů vibrací apod.). Právě pro frekvenční rozsah 10 Hz až 1000 Hz se používá nejčastěji rychlost vibrací, při jejímž měření nemusíme sledovat přidružené otáčky. Pro nižší frekvence pak volíme výchylku a naopak pro vyšší zrychlení. U těchto dvou veličin je třeba přidružené otáčky uvádět, jinak není možné stav stroje ohodnotit. Tato omezení můžeme vidět na Obr. 10). [3]

Po zvolení vhodné diagnostické veličiny i její charakteristiky je vhodné vybrat i metodu popisu signálu a kmitání, a to buď v závislosti na čase, nebo pomocí frekvenční analýzy, která je založena na tzv. rychlé Fourierově transformaci (FFT). FFT vychází z předpokladu, že jakoukoli periodickou funkci lze vyjádřit složením několika funkcí harmonických s celistvými násobky základní vlastní frekvence. Grafická závislost jedné z měřených veličin na frekvenci se pak nazývá frekvenční spektrum, které je diskrétní a zobrazuje jednotlivé harmonické frekvence. [13]

7.3 Systémy monitorování stavu

Známe několik forem systémů monitorování stavu:

- Trvale instalované tzv. on-line systémy
 - snímače, zesilovače a zařízení pro zpracování a uložení dat trvale instalovány na zařízení;
 - data ze snímačů mohou být snímána periodicky či kontinuálně;
 - nejčastěji používán na kritických strojích, jejichž odstávka je nákladná a poruchovost větší. [19]
- Semipermanentní [19]
 - podobné funkce jako kontinuální on-line systém, ale bývá méně propracovaný a méně nákladný;
 - data jsou zaznamenávána periodicky a to buď automaticky, nebo manuálně.
- Mobilní monitorovací zařízení
 - jde o kombinaci předchozích dvou systémů, kdy snímače nejsou trvale instalovány, ale pouze přikládány pro občasné sbírání dat. [19]

Rozhodnutí pro výběr vhodného systému je dáno několika faktory jako např. důležitostí provozu stroje, náklady při odstavení nebo katastrofické poruše, rychlost šíření poruchy, přístupnost pro opravu a údržbu, kvalita a cena diagnostického a monitorovacího systému, charakteristika stroje a prostředí v jakém pracuje atd. [19]

7.4 Snímače

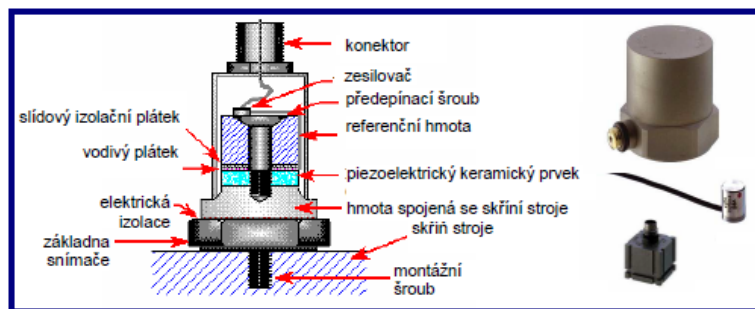
Pro nejefektivnější měření vibrací by měl výstupní signál snímače co nejvěrněji kopírovat průběh mechanického kmitání, což není jednoduchým úkolem. V podstatě rozlišujeme dva druhy snímačů a to **seismická zařízení**, pro měření **absolutních vibrací**, a **relativní snímače**, které měří výchylku mezi rotujícími a nerotujícími částmi. [13]

Při volbě snímačů musíme zohlednit, jakou veličinu chceme měřit, zda bude absolutní nebo relativní, a v jakých frekvencích se budeme pohybovat. Nejčastějšími volbami jsou

akcelerometry, které si rozebere blíže, protože jsou využívány i ve firmě Bosch Diesel s.r.o. Dále lze použít snímače rychlosti nebo bezdotykové sondy. [13]

7.4.1 Snímače zrychlení (akcelerometry)

Jsou to seismická zařízení na měření absolutních vibrací, jejichž výstupní signál je úměrný mechanickému vibračnímu zrychlení měřeného tělesa a upevňují se na nerotující (stacionární) části stroje. Akcelerometry jsou vyráběny v různých montážních rezonančních frekvencích a velikostech a jejich výstup je možné integrovat tak, aby dal signál úměrný rychlosti či výchylce. Příklad schéma akcelerometru je na Obr. 11) [3] [13]



Obr. 11) Schéma akcelerometru [3]

Charakteristickou vlastností akcelerometrů je jejich velký **dynamický rozsah**, tedy rozsah amplitud měřené veličiny, který je od 1 do 10^6 , široké frekvenční pásmo od 1 Hz do 30 kHz, a lze je využít v prostředí s vysokou teplotou, silným magnetickým polem nebo na malé montážní plochy malých objektů. Obecně platí, že čím větší snímač tím lepší citlivost a schopnost měřit nižší frekvence. Citlivost a frekvenční meze lze vyčíst z kalibrační křivky, která je nedílnou součástí každého akcelerometru. Hmotnost snímačů se pohybuje mezi 10g až 200g, a rozsahy teplot jsou až do 250°C. [20]

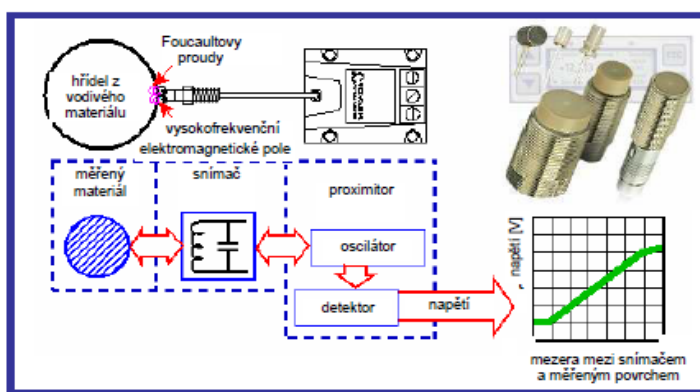
Typ akcelerometru	výhody	nevýhody
smykový 	široký frekvenční rozsah relativně odolný nízký teplotní vliv	menší citlivost
tlakový 	široký frekvenční rozsah odolný na rázy	náchylný na teplotní vlivy náchylný na deformaci základny
ohybový 	měří velmi nízké frekvence má velmi vysokou citlivost	křehký, citlivý na rázy

Obr. 12) Typy akcelerometrů [3]

Základem akcelerometru je piezoelektrický krystal, jehož deformací je generován elektrický náboj úměrný této deformaci a tedy působící síle. V závislosti na jeho poloze ve snímači rozeznáváme tři druhy akcelerometrů, jež lze vidět v na Obr. 12), a to tlakový, ohybový a smykový. Obrázek rovněž udává výhody a nevýhody jednotlivých typů. [3] [19] [13]

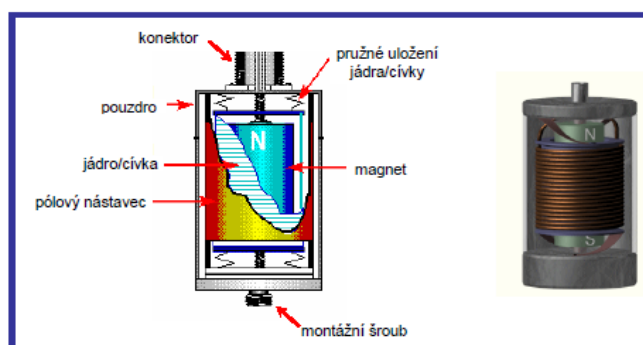
7.4.2 Snímače výchylky a rychlosti

Snímač výchylky je bezdotykové zařízení pro měření vibrační výchylky rotujícího hřídele vůči ložiskům, skřini nebo statoru, které jsou stacionární. Udává střídavou složku pro vibrační pohyb a stejnosměrnou pro polohu. Většina těchto snímačů pracuje na principu **vířivých proudů** (Obr. 13)), ale jsou i snímače laserové, kapacitní nebo indukční snímače. Frekvenční rozsahy těchto snímačů jsou od 0 Hz do 10 kHz, teplotní rozsahy se pohybují od -50 °C do 200°C a měřený jev rozsahu 1mm až 10mm. [19]



Obr. 13) Schéma systému měření bezdotykovou sondou [3]

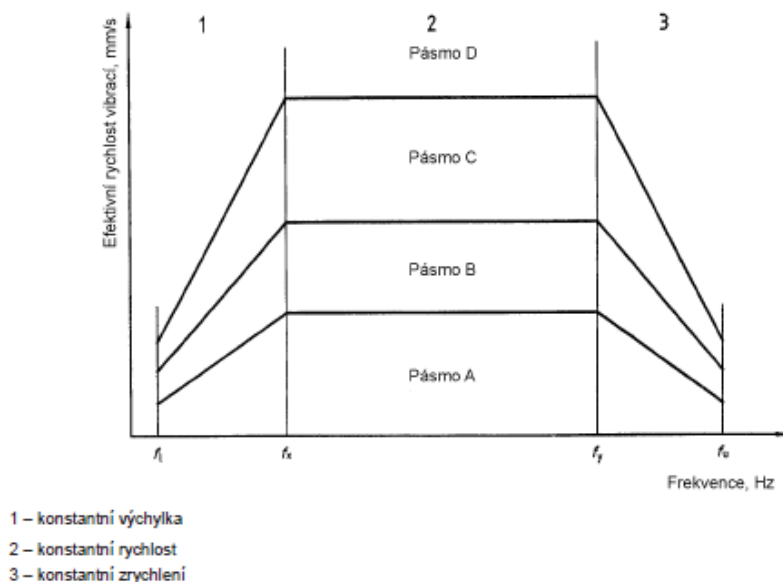
Snímače rychlosti neboli velometry jsou také seismická zařízení, která generují napěťový signál úměrný rychlosti měřeného tělesa. Velometry se upevňují na nerotující části stroje. Typicky pracují na principu elektromagnetické indukce, tedy tak, že cívka uvnitř snímače se vlivem vibrací rozkmitá v poli permanentního magnetu a vytvoří na svých vývodech napětí. Toto napětí je přímo úměrné relativní rychlosti cívky a magnetického pole. Snímač na Obr. 14) se skládá z cívky (jedné nebo dvou) uložené na měkkých pružinách a permanentního magnetu, který je pevně spojen s pouzdem snímače. [3] [19]



Obr. 14) Snímač rychlosti [3]

Použitelný frekvenční rozsah snímače je od 10 Hz do 1000 Hz a je dán mechanickými parametry jeho součástí. Jejich výhodou je poměrně vysoká citlivost, naproti tomu nevýhodou je vysoká cena a křehkost konstrukce, která je náchylná na otřesy. Proto se často využívají

Dostatečným parametrem pro charakterizování širokopásmových vibrací ve velkém rozsahu provozních otáček stroje je **efektivní hodnota rychlosti (RMSv)** a to v rozmezí frekvencí 10 Hz až 1000Hz. Na Obr. 16) níže je uvedená horní a dolní mez frekvence, mezi kterými je rychlost konstantní a k ní se pak vztahují RMSv. [3] [21]



Obr. 16) Pásma vibrací [21]

Druhé kritérium je stanoveno na základě změny širokopásmových vibrací za provozních podmínek, které se mohou podstatně zvýšit nebo snížit oproti referenční hodnotě, aniž by se dostaly do pásma C. Takové změny mohou být okamžité nebo postupné a mohou naznačovat rozvíjející se poškození. [3] [21]

Při dlouhodobém provozu se využívá tzv. pracovních mezí s názvem **výstraha** a **přerušení provozu**. **Výstraha** varuje, že došlo k překročení limitní hodnoty nebo k významné změně parametru, ale stroj je schopen dále pracovat po dobu prošetřování příčin a jejich řešení. Oproti tomu **přerušení provozu** naznačuje, že byla překročena hodnota vibrací, stroj už je potenciálně ohrožen a při dalším provozu hrozí jeho poškození. Musí být okamžitě stanovena a provedena opatření ke snížení vibrací nebo je stroj odstaven. [3] [21]

Pro stanovení hodnot výstrahy se obecně volí referenční hodnota plus 0,25 z hranice mezi pásmem B/C a pro přerušení provozu se vychází především z hodnot vztahujících ke konstrukčním a mechanickým vlastnostem stroje, a to k tuhosti a hmotnosti. [3] [21]

Pro nastavení hranic pásem se využívá norem a zkušeností. Obecně máme několik typů strojů klasifikovaných podle mnoha hledisek. U motorů je toto hledisko výkon stroje, pro které jsou v normách hranice definovány. Každý stroj je pak klasifikován podle uložení. Mnou monitorované motory mají výkon 15,5 kW, kdy 15kW je hranice dvou skupin elektromotorů. Proto zde uvádím tabulku hodnot jak pro elektromotory do 15kW, tak nad 15kW. [21]

Vzhledem k tomu, že do druhé kategorie spadají většinou opravdu velké stroje pracující při plném výkonu a maximálních otáčkách většinu provozního času a mnou diagnostikované motory mají proměnlivé otáčky řízené počítačovým programem, do svých maximálních otáček se během provozu nedostanou nebo jen na krátkou chvíli, zvolila jsem po konzultaci zařazení

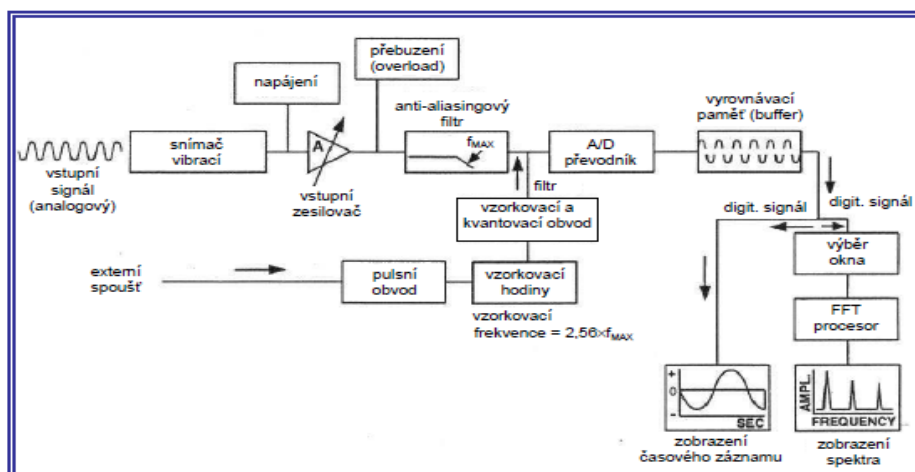
těchto motorů do skupiny 1. Sice je jejich výkon obecně větší, ale jde spíše o motory menší a nezatěžované v plném rozsahu. O motorech samotných si něco povíme v kap. 9.

Tab 2) Klasifikace pásem mohutnosti vibrací pro stroje skupiny 1 a 2

hranice pásma	Skupina 1		Skupina 2	
	Velké stroje		Středně velké stroje	
	$P < 15kW$		$300kW > P > 15kW$	
	tuhé	pružné	tuhé	pružné
A/B	1,4	2,3	2,3	3,5
B/C	2,8	4,5	4,5	7,1
C/D	4,5	7,1	7,1	11
	Efektivní hodnota rychlosti [mm/s]			

8 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Než je možné nasbíraná data zpracovat, je potřeba je převést z analogového signálu na digitální, což probíhá v analyzátoru (Obr. 17)). Analogový signál přichází ze snímače a jde do vstupního zesilovače, následně přes anti-aliasingový filtr do A/D převodníku, kde je digitalizován a odchází do vyrovnávací paměti. Odtud je možné jej zobrazit jako časový signál nebo zpracovat pomocí Fourierovy transformace na frekvenční spektrum. [18]



Obr. 17) Schéma analyzátoru [3]

8.1 Filtrování signálu

Do snímače přichází signál jako časová vlna složená z několika sinusoid o různých frekvencích. Na Obr. 17) je vidět, že před A/D převodníkem je zařazen elektrický filtr pro filtrování frekvencí, který nám umožní odfiltrovat vysoké nebo nízké frekvence, nebo volbu úzkého pásma frekvencí. [18]

Filtry s dolní propustí pouští jen signál s frekvencí menší než je určitá mez a vyšší frekvence jím neprojdou. **Filtry s horní propustí**, jak název napovídá, nechají projít jen frekvence s vyšší hodnotou než je frekvence mezní. Poslední možností je pak **pásmový filtr**, který je kombinací předchozích a nejčastěji se využívá pro pásmo 10 Hz a 1000 Hz dané normou pro hodnocení RMS. [18]

8.2 Analýza vibrací

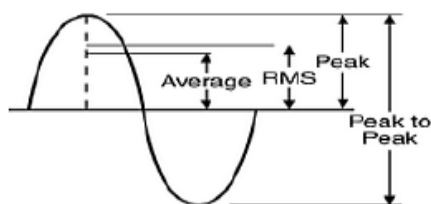
Analýzu je možné provádět ve dvou základních oblastech, a to v **časové** a **frekvenční**.

8.2.1 Analýza časové vlny

K analýze časové vlny se využívají závislosti amplitudy vybrané veličiny na čase. Sleduje se, jak konkrétní hodnota zvoleného parametru, která se porovnává s příslušnou normou, tak i vývoj trendu. Nejčastěji se používají parametry:

- **Špička (Peak)** – maximální hodnota amplitudy
- **Špička – špička (Peak to peak)** – maximální rozkmit zobrazený na Obr. 18)
- **Efektivní hodnota RMS (Root mean square)** – je vyjádřením průměrného výkonu měřené veličiny (více bylo popsáno v kap. 7.2)

- Průměrná hodnota (Average) [3]

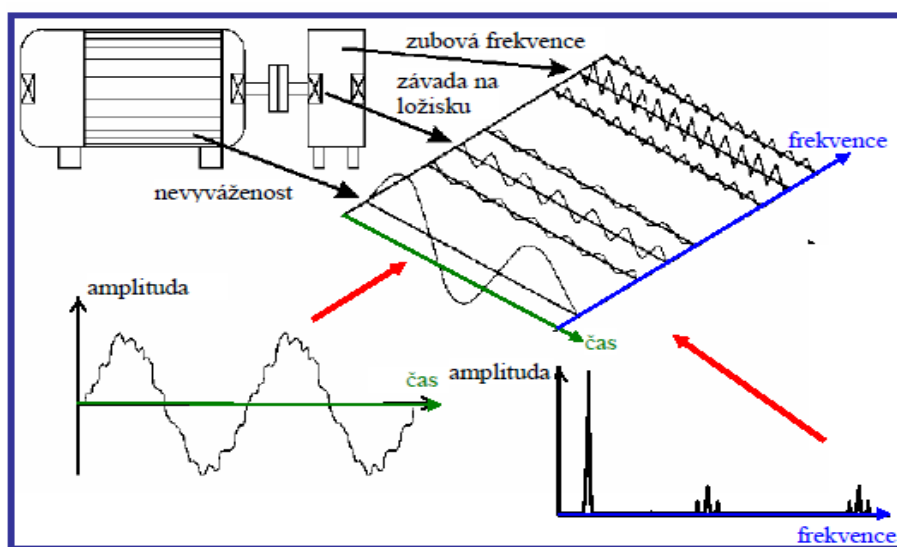


Obr. 18) Parametry měřené veličiny [16]

8.2.2 Analýza ve frekvenční oblasti

Každý signál je superpozicí několika různých signálů o různých amplitudách, fázích, periodách a tedy i frekvencích. Rozložení této časové vlny na signály se stejnou frekvencí se říká Fourierova transformace. Ta pracuje s předpokladem, že každá funkce je složená z mnoha sinusovek s různými amplitudami, jejíž frekvence je násobkem základní frekvence ω . [3]

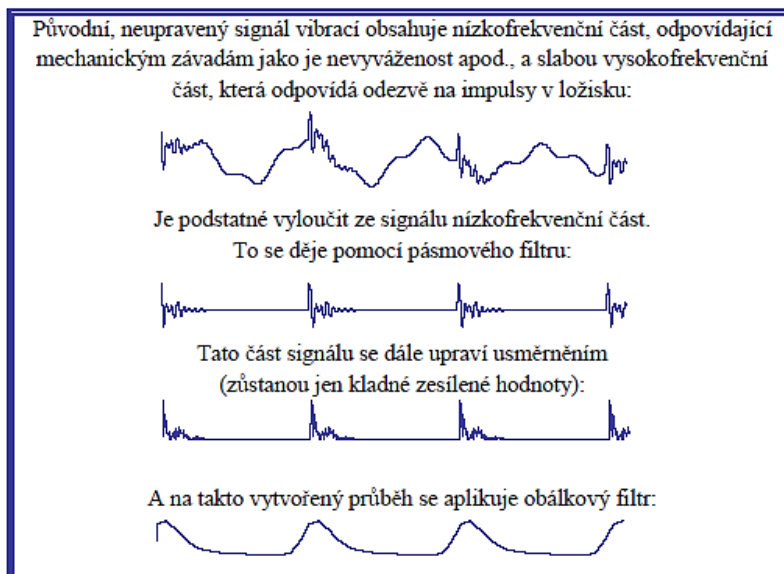
Při Fourierově transformaci převádíme původní vibrace v časové oblasti do oblasti frekvenční na tzv. frekvenční spektrum, kde je každý jev reprezentován sinusovkou o dané frekvenci. Názorně to lze vidět na Obr. 19). Ve většině analyzátorů se dnes používá tzv. **rychlá Fourierova transformace (FFT)**, která je jednou z nejrozšířenějších analytických metod.



Obr. 19) Princip Fourierovy transformace [3]

8.2.3 Obálková metoda (Envelope)

V dnešní době je kladen velký důraz na hlídání stavu ložisek a k tomu se nejčastěji využívá tzv. obálková metoda. Nejdříve jsou pomocí úzkopásmových filtrů odděleny vysokofrekvenční ložiskové signály od ostatních nízkofrekvenčních signálů stroje. Díky tomu jsou zvýrazněny amplitudy frekvencí jednotlivých částí ložiska jakou frekvence valivých elementů, klece, poškození vnějšího nebo vnitřního kroužku. Princip této metody je vidět na Obr. 20). [3]



Obr. 20) Obálková metoda [3]

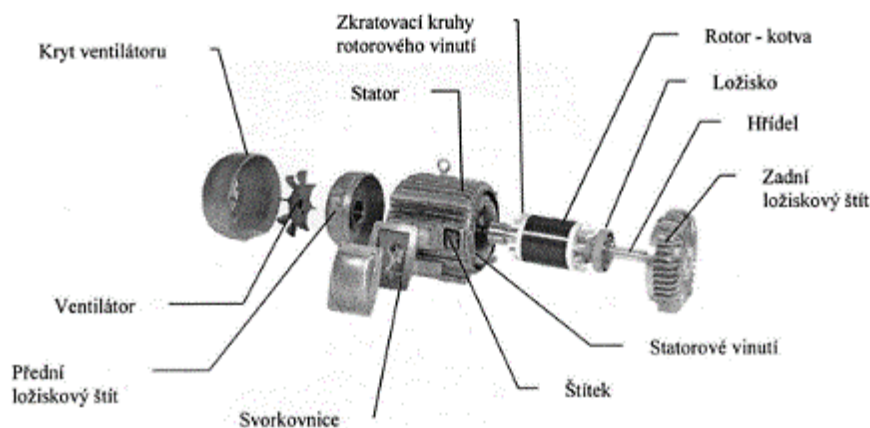
9 ASYNCHRONNÍ MOTOR

Elektromotory obecně jsou v dnešní době nejpoužívanějším zdrojem mechanické energie, která vzniká přeměnou elektrické energie a vytváří točivý moment. Asynchronní elektromotory patří mezi střídavé indukční stroje, které se dělí na elektromotory s kotvou nakrátko a s kroužkovou. Svojí provozní spolehlivostí a konstrukční jednoduchostí patří trojfázový asynchronní elektromotor k nejpoužívanějším elektrickým motorům. [13]

Obsluha motoru je jednoduchá a i když na něj působí proměnlivé zatížení, zůstává jeho rychlost otáčení téměř konstantní. Proto se hodí pro aplikace bez potřeby regulace otáček. Naopak je-li třeba otáčky regulovat, volí se užití frekvenčních měničů. [13]

9.1 Konstrukce motoru

Motor je tvořen dvěma základními částmi, nerotujícím vnějším statorem a rotujícím vnitřním rotorem umístěným na hřídeli, která je na obou koncích osazena kuličkovými nebo válečkovými ložisky a předává dál točivý moment. Rozložený motor s kotvou nakrátko vidíme na Obr. 21). [13]



Obr. 21) Rozložený asynchronní motor s kotvou nakrátko [13]

Stator je tvořen elektrotechnickými plechy s drážkami na vnitřním obvodu, které jsou uloženy v lité nebo svařované kostře. V drážkách je umístěno trojfázové vinutí, které je vyvedeno na svých koncích na svorkovnici. [13]

Rotor je stejně jako stator tvořen elektrotechnickými plechy, ale tentokrát s drážkami na vnějším obvodu, které jsou uloženy na hřídeli pomocí drážky a pera nebo vroubkování. Drážky rotoru jsou vyplněny tyčemi a na koncích spojeny zkratovými kruhy. Ložiska na hřídeli jsou uložena v ložiskových štítech. [13]

9.2 Princip činnosti motoru

Jak již bylo zmíněno, ke statorovému vinutí je připojeno napětí a prochází jím proud, který generuje točivé magnetické pole. Jeho otáčky jsou dány vztahem (14):

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (14)$$

kde n_s – otáčky točivého magnetického pole statoru [min^{-1}]

f_1 – síťová frekvence [Hz]

p – počet pólových dvojic

Toto magnetické pole indukuje v rotoru proud, čímž ho roztočí otáčkami n , které se projeví točivým momentem na hřídeli. Energie mezi statorem a rotorem je předávána indukcí, takže rotor musí být stále protínán magnetickým polem statoru a je roztočen ve směru působení tohoto pole. [13]

Rozdíl mezi otáčkami magnetického pole statoru a rotoru je tzv. skluzová rychlost, častěji vyjadřovaná ve formě skluzu v procentech, což je poměr skluzové rychlosti a rychlosti synchronního magnetického pole statoru - rovnice(15). [13]

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad (15)$$

kde s – skluz [%]

n_s – otáčky točivého magnetického pole statoru [min^{-1}]

n – otáčky rotoru

V rotoru se indukuje napětí o kmitočtu f_2 dané vztahem (16)

$$f_2 = \frac{p}{60} \cdot (n_s - n) \quad (16)$$

Dosadíme-li za rozdíl rychlostí z (15) dostáváme vztah (17):

$$f_2 = \frac{p}{60} \cdot n_s s = n_s \cdot f_1 \quad (17)$$

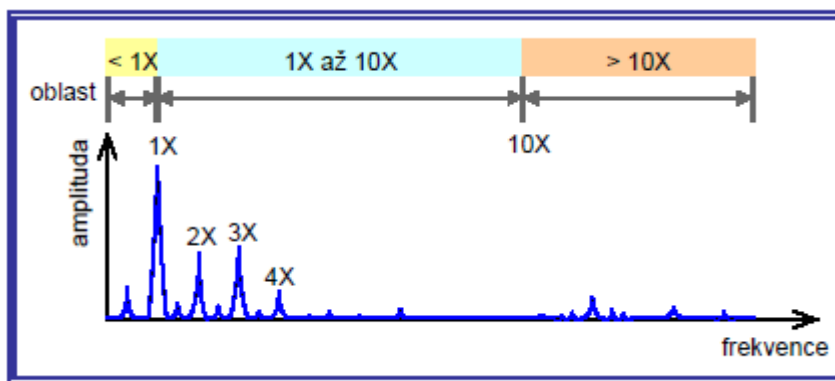
Z tohoto vztahu je vidět, že rotor se bude točit v případě odlišných otáček n od otáček statorového magnetického pole n_s , tedy asynchronně, proto i ten název pro indukční asynchronní elektromotory. [13]

10 INTERPRETACE FREKVENČNÍHO SPEKTRA

Frekvenční spektrum je graf závislosti úrovně měřené veličiny na frekvenci. Známe-li významné frekvence spojené jednotlivými komponentami stroje nebo jejich poruchami, můžeme se na ně ve frekvenčním spektru zaměřit a následně odhalit, jaká část motoru je poškozena. Tímto odhalením lze ušetřit náklady na výměnu celé hřídele nebo motoru a snížit je na náklady pouze za nová ložiska nebo vyvážení stroje. [13]

Spektrum je složeno z řady diskretních čar a je dobré si ho rozdělit na několik částí, viditelných na Obr. 22)

- První je oblast pod frekvencí otáčení tzv. 1x, ve které se mohou objevit špičky indikující problémy s mazivem v ložiscích
- Druhá oblast do desetinásobku frekvence otáčení, která obsahuje harmonické frekvence, tedy celé násobky otáčkové frekvence značené 2x, 3x, 4x atd. Zde se projevují základní mechanické závady jako nevyváženost, nesouosost, poruchy statoru a rotoru.
- Třetí je oblast nad 10x, oblast vysokofrekvenčních událostí, kde se objevují amplitudy na poruchových frekvencích ložisek a zubů. [13]



Obr. 22) Rozdělení frekvenčního spektra [13]

Obecně lze ve spektrech sledovat závady různého typu, my si ale blíže vysvětlíme jen závady spojené s elektromotory a jejich komponentami, které jsme zmínily v předchozí kapitole. Nejdříve je ale třeba vysvětlit pojem rezonance, který může jednotlivé závady umocnit a způsobit mnohem větší poškození, než kdyby k rezonanci nedocházelo. [18]

10.1 Rezonance

Rezonance je ustálený periodický pohyb bez vnitřního tření. Rezonance jako taková vibrace nezpůsobuje, ale zesiluje již přítomné vibrace od malých střídavých sil, mají-li rezonanční frekvenci. Tato frekvence závisí na tuhosti a hmotnosti tělesa, z čehož vyplývá, že každé těleso ji má definovanou. Vztaheno na stroje, pokud se rezonanční frekvence, nebo i více frekvencí, blíží otáčkové frekvenci stroje, nastává problém. [13] [18]

Jde-li o rezonanci na hřídeli, nazývá se **kritické otáčky**, kdy se otáčková frekvence hřídele blíží rezonanční frekvenci a může dojít k poškození rotoru. Při rozběhu a doběhu dobře vyvážených strojů mohou nastat kritické otáčky, ale to by neměl být problém. Dochází-li

k blízkosti hodnot otáčkové a rezonanční frekvence, je poté projev vibrací na stroji nepředvídatelný a mění se náhodně. Rezananční frekvence je zjistitelná měřením otáčkové frekvence, na kterých jsou vibrace největší. Platí pravidlo, že pokud je zesílení v jednom směru alespoň 3x větší než v ostatních, jsou pak pracovní otáčky blízko otáčkám kritickým. Zabránit rezonanci lze snížením nebo zvýšením pracovních otáček. [18]

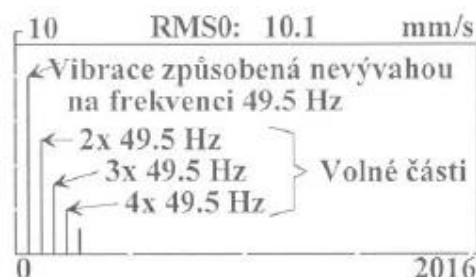
10.2 Nevyváženost (nevývaha)

Jde o závadu způsobenou jednou ze základních budících sil a to silou odstředivou. Tato odstředivá síla vzniká nedokonalým uložením těžiště rotoru do osy rotace a neshodou této osy s hlavní osou setrvačnosti. Jednoduše jde o nerovnoměrné rozložení hmoty kolem osy rotace. Odstředivá síla rotuje společně s hřídelí, a tudíž se amplituda vibrací ve frekvenčním spektru projevuje na otáčkové frekvenci stroje, nejčastěji v radiální směru. Nevyváženost lze rozdělit na tři typy, statickou, momentovou a dynamickou. [3] [13] [18]

Statická nevyváženost se projeví, i když není stroj v provozu, kdy se rotor otočí vždy nejtěžším bodem do nejnižší polohy. Vyvažování se pak provádí na jedné vyvažovací rovině. **Momentová** nevyváženost vzniká, jsou-li hlavní osa rotace a setrvačnosti různoběžné. Poté se rotor v klidu jeví vyvážený, ale za provozu je vychylován silovou dvojicí. [3] [13] [18]

Dynamická nevyváženost je nejobvyklejším typem a jde o kombinaci předchozích nevyvážeností, kdy je hlavní osa rotace s osou setrvačnosti mimoběžná. Takový stroj se vyvažuje ve dvou vyvažovacích rovinách, kdy nejdříve se vyvažuje nevyváženost statická a následně momentová. Nejčastěji se stroj vyvažuje za provozu, buď při výměně nástroje nebo odstávce či opravě stroje. V takových případech si dělá vyvážení firma sama nebo si pozve externisty. [3] [13] [18]

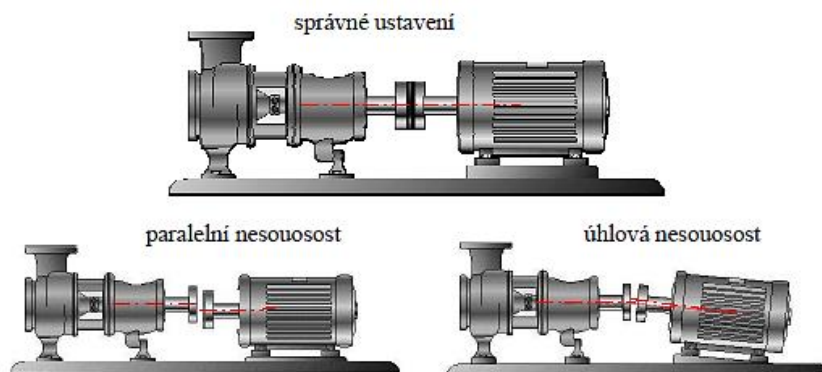
Má-li stroj uvolněné komponenty nebo vůli mezi ložiskem a jeho domečkem, způsobuje to projevy vibrací na harmonických frekvencích otáčkové frekvence, jako důsledek nevývahy (Obr. 23)). Hodnota rychlosti vibrace by neměla přesáhnout 2,8mm/s. [3] [13] [18]



Obr. 23) Projev nevývahy ve frekvenčním spektru [18]

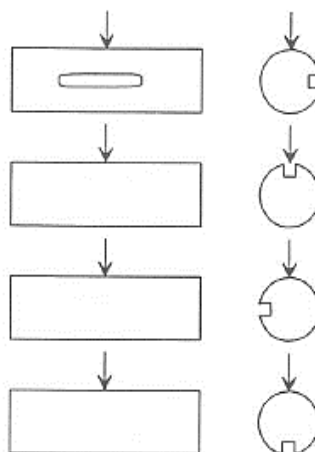
10.3 Nesouosost

Další typická závada způsobená špatným ustavením stroje, a to buď rotoru ve vlastní skříni, nebo rotoru k dalším komponentám. Nejčastěji jde o nesouosost hřídele a spojky, která může být paralelní nebo úhlová, jak můžeme vidět na Obr. 24). V praxi se často objevuje kombinace obou a to v důsledku ohnutého hřídele. [3] [13] [18]



Obr. 24) Typy nesouososti a správné ustavení stroje [13]

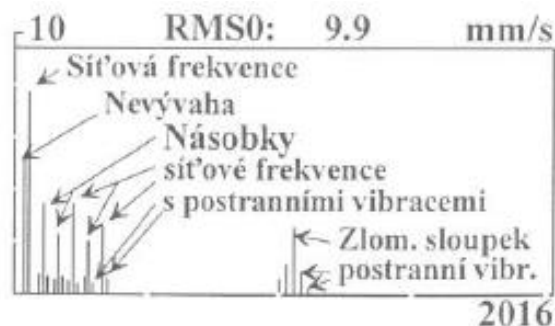
Vzhledem k drážkám na hřídeli se střídavá síla projevuje během jedné otáčky dvakrát, což objasňuje Obr. 25), vibrace se pak projeví lehce na otáčkové frekvenci, kde ji nelze příliš odlišit od nevývahy, výrazněji pak ale na dvojnásobku otáčkové frekvence a nejčastěji v axiálním směru. [3] [13]



Obr. 25) Působení střídavé síly na hřídel [18]

10.4 Poruchy elektromotoru

Frekvence eklektické sítě je nejčastěji 50 Hz a magnetická síla se objeví za jednu periodu dvakrát. Není-li rotor ve středu magnetického pole statoru nebo dojde k elektrické poruše, projeví se vibrace na oněch 50Hz a jejích násobcích. U rotoru nakrátko může dojít ke zlomení tyče vodící indukovaný proud, čímž se rotor zpomalí a sníží se otáčky. Tato porucha se projeví na frekvenci rovné otáčkové vynásobené počtem tyčí. Takové spektrum vidíme na Obr. 26). [18]

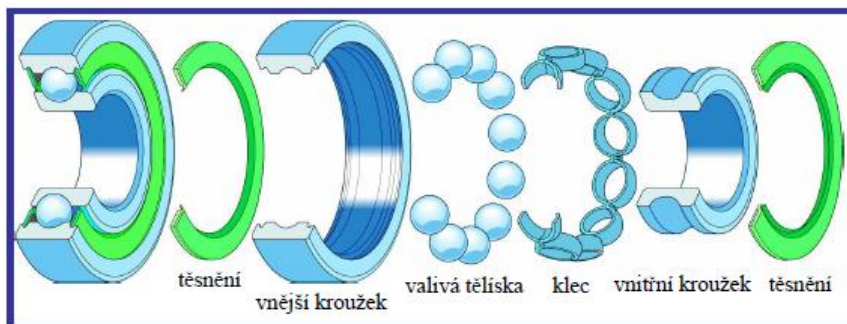


Obr. 26) Frekvenční spektrum s různými projevy vibrací [18]

10.5 Ložiska

Ložiska patří mezi nejpoužívanější strojní součásti a z hlediska údržby jsou jedním z nejdůležitějších problémů ovlivňujících spolehlivost stroje. Známe několik typů ložisek, kluzná, valivá a speciální. Zaměříme se na kuličková ložiska, která jsou na analyzovaných motorech. Jejich základní funkcí je přenos sil z rotujících součástí na konstrukci a snížení tření. Životnost ložiska je ovlivněna nadměrnými vibracemi a vysokou dynamickou zátěží. [3] [18]

Valivá ložiska jsou tvořena čtyřmi základními částmi, a to vnějším kroužkem, vnitřním kroužkem, klecí a daným typem valivých elementů (Obr. 27)). Dojde-li k poškození kterékoli části, vibrace se ve frekvenčním spektru projeví na specifických frekvencích popsanych níže.



Obr. 27) Konstrukce valivého kuličkového ložiska [3]

Poškozená valivá ložiska generují tři typy frekvencí při rozvoji závady:

- Náhodné ultrazvukové frekvence – měření v oblasti ultrazvukových frekvencí od 5 kHz do 60 kHz, kde se projevují první poškození způsobená špatným mazáním. To lze zaznamenat i na vyšších frekvencích mezi 250 kHz a 350 kHz. [3]
- Vlastní frekvence jednotlivých komponent – ty se pohybují mezi 500 Hz a 2000 Hz, kdy malé vady v ložisku začínají budit vlastní frekvence a ve frekvenčním spektru se objevují postranní pásma kolem špičkové hodnoty. Tyto frekvence se zjišťují pomocí obálkové metody (H-FFT) [3]
- Frekvence ložiskových závad – objeví-li se na ložisku závady, vzniknou vibrace závislé na místě vzniku poruchy. Frekvence těchto vibrací lze dopočítat pomocí vzorců, které se postupně vyvíjeli a závisí na parametrech ložiska (viz Obr. 28)) a otáčkové frekvenci [3]

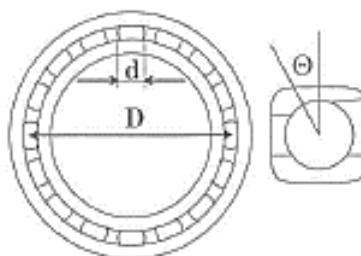
D - roztečný průměr ložiska

d - průměr kuliček nebo válečků

Q - kontaktní úhel, směr přenosu síly z vnitřního k vnějšímu prstenci

Z - počet kuliček nebo válečků

N - počet otáček za minutu



Obr. 28) Parametry vzorců pro výpočet poruchových frekvencí [18]

Rozlišujeme čtyři typy ložiskových závad, jejichž poruchové frekvence mají tyto zkratky a vzorce [18]:

- FTF – závada na kleci daná vztahem (18)

$$FTF = \frac{N}{2 \cdot 60} \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos(\theta)\right) \quad (18)$$

- BPFI – závada na vnitřním kroužku dle rovnice (19)

$$BPFI = \frac{Z}{2} \cdot \frac{N}{60} \cdot \left(1 + \frac{d}{D} \cdot \cos(\theta)\right) \quad (19)$$

- BPFO – závada na vnějším kroužku (rovnice (20))

$$BPFO = \frac{Z}{2} \cdot \frac{N}{60} \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos(\theta)\right) \quad (20)$$

- BSF – závada valivého elementu (viz. (21))

$$BSF = \frac{D}{2d} \cdot \frac{N}{60} \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D} \cdot \cos(\theta)\right)^2\right) \quad (21)$$

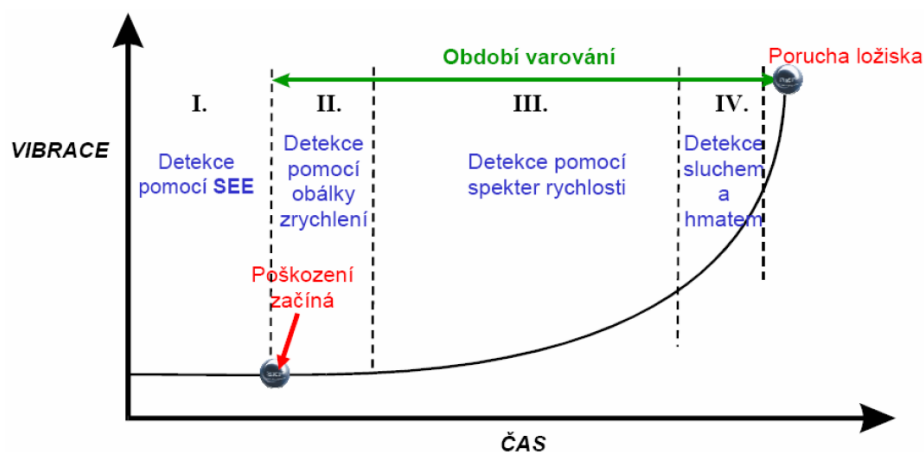
Na mnou diagnostikovaných motorech jsou ložiska firmy FAG 6216-2Z/C3 s rozměry a dopočítanými poruchovými frekvencemi danými v Tab 3) . Je důležité říct, že motory mají frekvenční měnič, který mění otáčky podle programu v počítači. Snímače na motorech pak snímají dané veličiny pouze při ustálených otáčkách, což jsou 3500 ot. /min. Proto v tabulce udávám i hodnoty poruchových frekvencí při těchto otáčkách. V praxi budou zadány do programu rozměry daných ložisek a program sám si bude dopočítávat a hlídat všechny poruchové frekvence podle aktuálních otáček motoru, kromě FTF, která není v programu zahrnuta.

Tab 3) Parametry a hodnoty poruchových frekvencí ložisek

stav	d [mm]	D [mm]	Z [-]	Θ [°]	N [ot. /min]	FTF [Hz]	BPFI [Hz]	BPFO [Hz]	BSF [Hz]
Maximální otáčky	18,25	112	12	0	4500	31,4	523,3	376,7	224
Ustálené otáčky během monitorování					3500	24,4	407	293	174,2

Objeví-li se některé z poruchových frekvencí ve frekvenčním spektru, není nutné hned vypínat stroj. Životnost ložiska lze prodloužit chlazením nebo promazáním. Klíčovou indikací výskytu poruchy ložiska je přítomnost harmonických frekvencí těchto závad ve frekvenčním spektru. Vše ale závisí na úrovni vibrace, tu nelze absolutně odhadnout. [3] [18]

Na Obr. 29) je vidět graf rozvoje závady, tedy velikosti vibrace v závislosti na čase a jaké metody lze použít k detekci závad v jednotlivých obdobích. [3]



Obr. 29) Rozvoj poškození valivého ložiska [3]

V posledních podkapitolách jsme probrali jednotlivé poruchy a jejich projevy jak v časové tak ve frekvenční oblasti. Tyto poruchy jsou shrnuty v Tab 4) společně s frekvencemi a dominantními rovinami, na kterých se projevují.

Tab 4) Sumarizace důležitých poruch

Příčina	Frekvence	Dominantní rovina
Nevývaha	1x	radiální
Úhlová nesouosost nebo ohnutý hřídel	1x, 2x	axiální
Rovnoběžná nesouosost	1x, 2x	radiální
Mechanické uvolnění	1x, 2x, 3x a také 0,5x, 1,5x	radiální
Poškozené valivé ložisko	indukovaná rezonance ložiskového domku nebo stroje, 1 až 20 kHz	-
Nestabilita kluzného ložiska (víření maziva)	0,43-0,48x	radiální
Porucha elektromotoru	50Hz a harmonické nebo otáčková krát počet vodičů rotoru	radiální

11 BOSCH DIESEL S.R.O. JIHLAVA

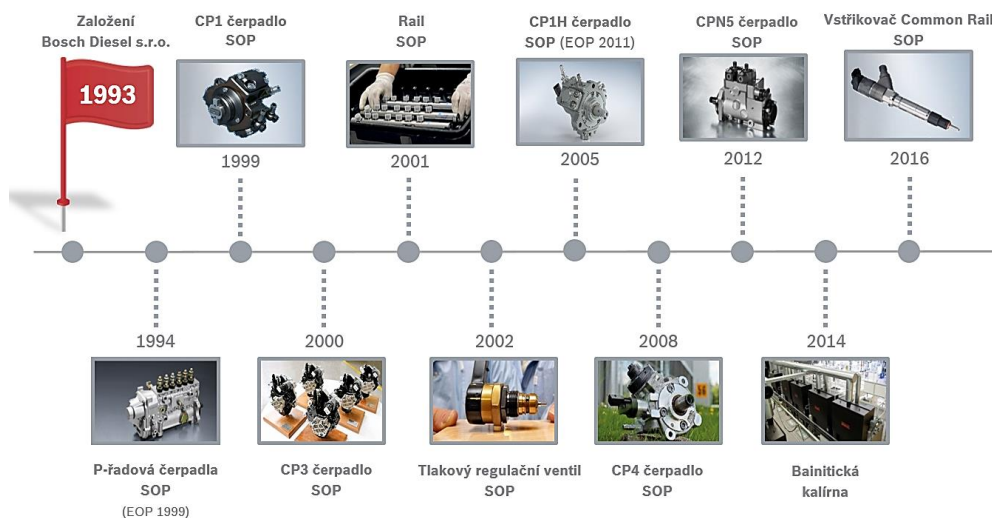
Bosch Group je na vrcholu mezi mezinárodními dodavateli technologií a služeb. Obecně se jeho činnost dělí na čtyři oblasti: [22]

- Mobility solutions
- Průmyslová technika
- Energetika a technika budov
- Spotřební zboží



Obr. 30) Logo Bosch Diesel s.r.o.

Bosch Group zahrnuje hlavní společnosti Robert Bosch GmbH a asi 450 dceřiných společností po celém světě. Společnost byla založena Robertem Boschem ve Stuttgartu roku 1886. Do České Republiky se poprvé dostává už v roce 1920, následně je ale nucena svoji činnost přerušit a vrací se roku 1989. Výrobní závod Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě je založen roku 1993 a historii jeho výrobku ukazuje Obr. 31). [22]



Obr. 31) Historie produktů závodu Bosch Diesel s.r.o. [23]

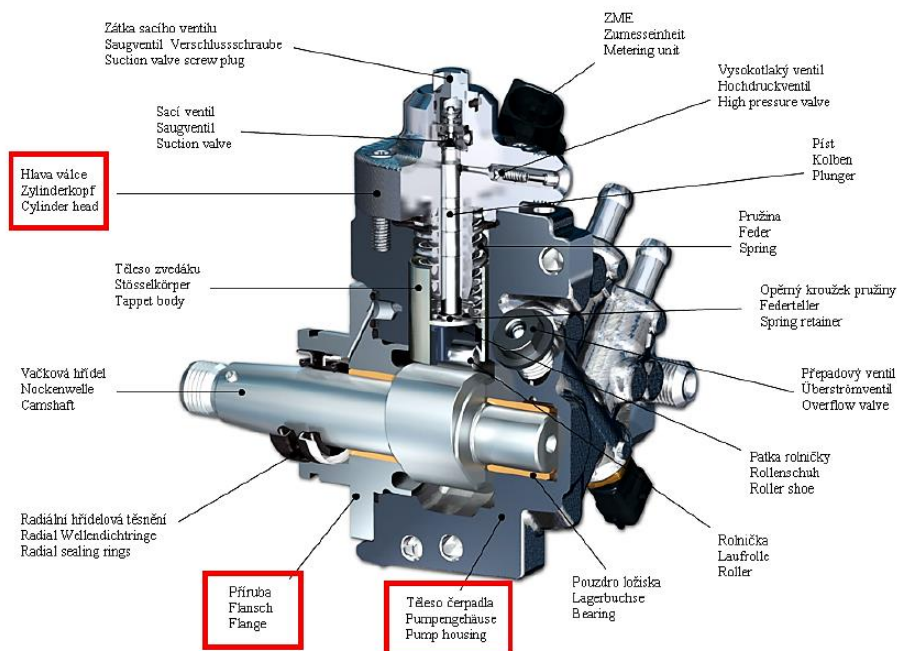
Jihlavský závod patří do oblasti Mobility solutions a divize Diesellové systémy, která vyvíjí, vyrábí a aplikuje diesellové systémy a především vstřikovací systémy do osobních a užitkových automobilů. Tyto moderní vstřikovací systémy paliva jsou především Common Rail a systémy likvidace výfukových plynů a obecně přispívají ke snížení spotřeby paliva a množství emisí. Tento závod je v současné době největším výrobním závodem pro vstřikovací systémy v této divizi a dodává své výrobky předním světovým automobilkám. [22]

Vzhledem k přísnosti automobilového průmyslu musí firma splňovat nejnáročnější a nejlepší úroveň kvality, prokázanou certifikáty jako jsou:

- Kvalita: ISO 9001:2008 a TS/ISO 16949
- Ochrana životního prostředí: ISO 14001:2004
- Bezpečnost a ochrana zdraví při práci: OHSAS 18001:2007

K hlavním výrobkům ve třech výrobních závodech patří diesellová vysokotlaká čerpadla CP3, CP4 a CPN5, vysokotlaké zásobníky (raily) a tlakové regulační ventily. Čerpadlo CP4

(Obr. 32)) je složeno z několika částí, ale v Jihlavě jsou vyráběny pouze červeně orámované produkty, hlava válce, těleso čerpadla a příruba. Také je zde prováděná závěrečná montáž čerpadla a jeho testování na zkušebních stanicích, jejichž motory jsou objektem této diplomové práce. [22]



Obr. 32) Čerpadlo CP4 a produkty vyráběné závodem v Jihlavě [23]

Obecně jde o čerpadlo s váčkovou hřídelí vyráběný ve dvou variantách, s jednou a se dvěma vysokotlakými hlavami. Může být použito do tlaku až 2000 barů v osobních i užitkových vozech s výkonem motoru do 350kW. Jeho výroba byla v Jihlavě započata v roce 2008 a patří teď k největším závodům pro jeho výrobu v rámci divize Diesel Systems. [23]

PRAKTICKÁ ČÁST

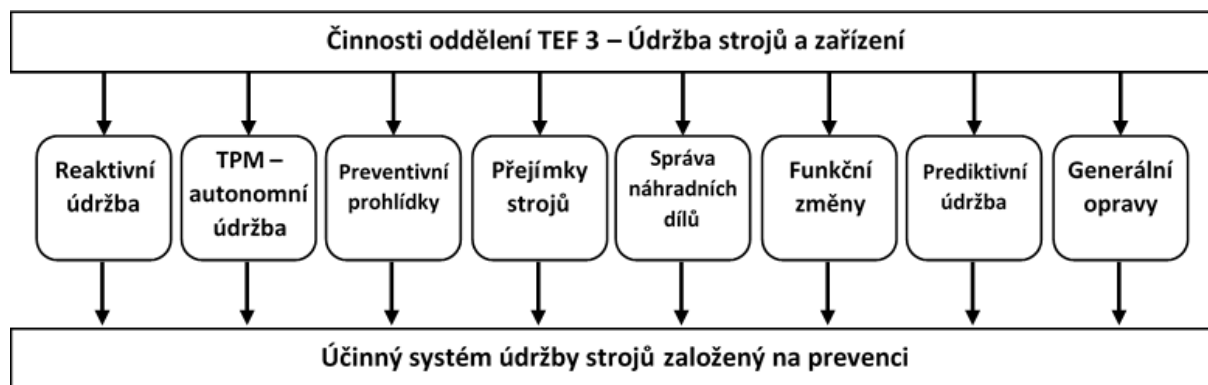
V předchozích kapitolách byly popsány teoretické základy, jako jsou základní typy údržby a její vývoj, různé moderní přístupy k údržbě, které v dnešní době zahrnují především hledisko údržby prediktivní a proaktivní, jež je zaměřená na technickou diagnostiku a zjišťování příčin vzniku poruch a následně předcházení tohoto vzniku, či jeho oddálení.

Zde nastupuje úloha technické diagnostiky, kdy off-line nebo on-line sledujeme námi zvolené parametry stroje a při správném nastavení senzorů a dostatečných znalostech diagnostika jsme schopni vyhodnotit aktuální stav stroje a predikovat jeho životnost či potřebu výměny nebo opravy některých částí.

V této velké kapitole bude nejdříve popsán systém údržby ve firmě Bosch Diesel s.r.o., jak je realizován a jakým způsobem využívá právě technické diagnostiky pro účely údržby. Dále se zaměříme na konkrétní úkol - monitorování asynchronních motorů zkušebních stanic, realizaci celého diagnostického systému a jeho podsystémy včetně použitých softwarů a především na nastavení snímání vibrací v programu Effector Octavis. Následně provedu změnu limitních hodnot nastavení jednotlivých parametrů a případně doplním další vhodné parametry, kterých bylo využito na jiných strojích. Závěrem zhodnotím dle monitoringu jaký je stav motorů a odhadnu životnost jednotlivých motorů nebo jejich součástí.

12 SYSTÉM ÚDRŽBY VE FIRMĚ BOSCH DIESEL S.R.O.

Údržba ve firmě Bosch spadá pod oddělení TEF3 a je rozdělena dle Obr. 33):



Obr. 33) Rozdělení údržby na oddělení TEF3 [23]

Toto rozdělení je součástí interní směrnice Bosch Diesel s.r.o. a vidíme, že údržba je zde rozdělena na [23]:

- **Reaktivní údržbu** – neboli údržba po poruše
- **TPM – autonomní údržbu** - jde o kontrolní, čistící a údržbové práce, které na strojích a zařízení samostatně provádí obsluha nebo seřizovači a dělí se dále na údržbu plánovanou a reaktivní
 - Plánovaná autonomní údržba - Soubor plánovaných preventivních prací prováděných v pravidelně definovaném čase a řízený TPM kartami.

- Reaktivní autonomní údržba - Soubor prací a drobných oprav strojů, které provádí seřizovači jednotlivých výrob na základě náhlých neplánovaných poruch strojů a podle předem definovaných postupů. Jedná se o jednoduché a často se opakující poruchy, vybrané na základě analýzy v softwaru SAP.
- **Preventivní prohlídky** - Pravidelné prohlídky a přezkoušení výrobního stroje nebo výrobního zařízení, které mají účelově a preventivně zabránit poruchám na výrobních strojích nebo zařízeních.
- **Přejímky strojů** - Na nový, přestěhovaný, přestavený stroj či zařízení je aplikována nálepka přejímky z hlediska BOZP, HSE (požární ochrana), QMM (štítky související s oddělením kvality) a TEF (mechanická a elektrická přejímka).
- **Správa náhradních dílů** – Postup pořizování, plánování a skladování náhradních dílů.
- **Funkční změny** - taková změna, při níž je změněna logika funkce stroje nebo jeho ovládání. Patří sem především změny PLC programu.
- **Prediktivní údržba** – sem spadá provádění termodiagnostiky, vibrodiagnostiky a kruhového testu na strojích a zařízeních.
- **Generální opravy** - Plánovaná celková oprava / výměna opotřebovaných dílů u výrobních strojů a výrobních zařízení

12.1 Prediktivní údržba

Umožňuje předcházet vážnějším poruchám a poškozením stroje. Díky tomu lze lépe plánovat výrobní odstávky, šetřit personální náklady, zkrátit výměnu vadného dílu vhodnou přípravou a zamezit poškození dalších dílů. Oddělení TEF34 má na starosti diagnostiku teploty, vibrací a kruhový test. [23]

12.1.1 Diagnostika teploty

Diagnostika teploty v rámci prediktivní preventivní údržby je prováděna bezkontaktní metodou pomocí termokamer na elektrických rozvaděčích výrobního stroje, na zařízeních s přívodem energie, hlavním vypínačem nebo s elektrickými komponenty. [23]

Je-li na měřeném zařízení zjištěna zvýšená teplota oproti průměru, ale nehrozí bezprostřední ohrožení stroje nebo vznik požáru, je to klasifikováno jako **defekt** a jeho řešení a odstranění je provedeno během odstávky stroje nebo preventivní údržby. Při překročení povolené teploty nebo oteplení vodičů, svorek, izolace a součástí (dle ČSN EN 60204-1, ČSN EN 60947-1); zvýšení oteplení poblíž hořlavých materiálů; zjištění degradace (hnědnutí až uhelnatění) izolace; oxidace povrchu kontaktů a vodičů, dochází k tzv. **defektu s rizikem** požáru a tento musí být odstraněn okamžitě. [23]

Na stroj je následně umístěna značka s datem další termodiagnostiky a příslušný pracovník zpracuje protokol o měření, který je archivován, o defektu je informován provozovatel stroje a případné opravy a další úkony jsou zadány do SAPu. [23]

12.1.2 Diagnostika vibrací

Vibrodiagnostické měření je z principu prováděno za definovaných stabilních podmínek, s krátkým omezením výroby. Vibrace jsou využity jako zdroj informací pro stanovení technického a provozního stavu strojních zařízení. Hlavním cílem vibrodiagnostiky je určit

skutečný stav stroje a tím umožnit operativní plánování údržby, minimalizovat zbytečné preventivní opravy a předcházet havarijním odstávkám. [23]

Stroj si pracovník údržby roztočí na požadované otáčky a provede diagnostické měření několika veličin na několika místech z hlediska stavby stroje. Na rotačních částech jakou jsou vřetena nejčastěji v radiálním směru rozděleném na horizontální a vertikální, a ve směru axiálním, na motorech stejně tak, s tím že jsou proměřeny jak oblast předního, tak zadního ložiska. [23]

Naměřená data se nahrají do softwaru OMNITREND a výsledky jsou zpracovány do protokolu, kde je popsán aktuální stav stroje a doporučení pro další akce. Je-li stav ve žluté části tedy výstraze, je zkrácen interval do dalšího měření vibrací a dosáhne-li červené zóny, pak je navrženo okamžité opatření, oprava nebo výměna. [23]

12.1.3 Kruhový test

Je jednou z hlavních metod nedestruktivní diagnostiky a z principu je prováděn při zapnutém stroji. Princip metody spočívá v proměření periodických pohybů, které stroj vykonává ve zvolené obráběcí rovině (XY, YZ, ZX). Výsledná data slouží jako zdroj informací, pro rychlé a efektivní stanovení technického a provozního stavu strojních zařízení.

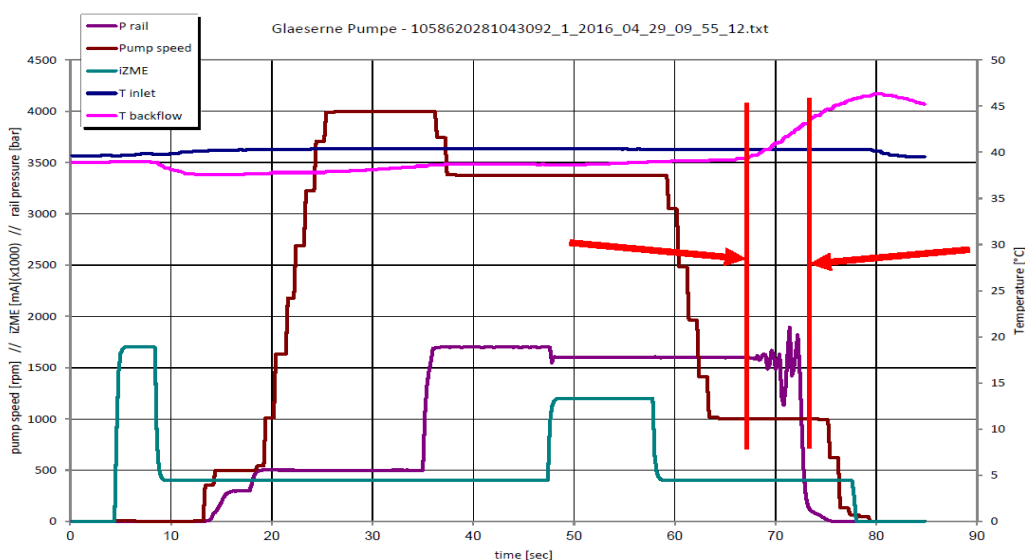
Postup je stejný jako u předchozích typů, po provedení měření jsou zaznamenány výsledky, tentokrát do softwaru Renishaw a je vystaven protokol o měření. Je-li potřebná výměna nebo oprava, musí být vše zadáno do SAPu. [23]

13 DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM

My se teď zaměříme na náš konkrétní diagnostický systém a určení těchto subsystémů.

13.1 Objekty diagnostiky – motory zkušebních stanic

Objektem diagnostiky je v této diplomové práci 32 motorů zkušebních stanic čerpadel CP4, jež jsou rozmístěny v osmi linkách po čtyřech stanicích a provádí funkční zkoušky čerpadel (Obr. 35) a). Asynchronní elektromotory s kotvou nakrátko od firmy AMK jsou tvořeny statorem se 48 vodícími tyčemi a rotorem na hřídeli s maximálními výstupními otáčkami 5100 ot./min. Tato hřídel je osazena ložisky FAG 6216-2Z/C3, což jsou ložiska kuličková s kovovým krytem z obou stran (Obr. 35) b). Pro testování čerpadel jsou otáčky pomocí frekvenčního měniče a řídicí karty měněny na základě programu v počítači. Průběh zkoušky lze vidět na Obr. 34). Parametry motoru jsou v Tab 5).



Obr. 34) Průběh otáček na motorech zkušebních stanic CP4

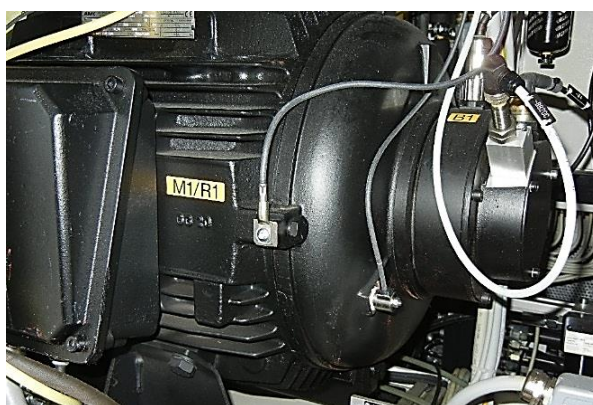
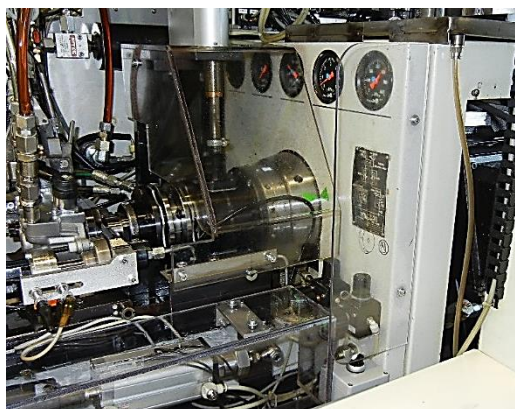


Obr. 35) a) Motor zkušebních stanic firmy AMK; b) Ložiska FAG 6216-2Z/C3 [24]

Na výstupní hřídel navazuje přes kuželové uložení setrvačník a následně lamelová pružná spojka. Pak už následuje samotné testované čerpadlo (Obr. 36)a) Na druhé straně u zadního ložiska je pak umístěno odměřování. (Obr. 36)b).

Tab 5) Parametry motoru

Výrobce	AMK
Typ	DH22-220-6-I00
Výkon	15,5 kW
Napájecí napětí	350V
Napájecí proud	35 A
Třída izolace	F
Maximální otáčky	5100 ot. / min
Ložiska	FAG 6216-2Z/C3



Obr. 36) Uspořádání zkušební stanice

a) pohled zepředu; b) pohled zezadu

13.2 Prostředky diagnostiky

Mezi prostředky technické diagnostiky byly zahrnuty všechny vibrační senzory VSA005 a teplotní senzory TS2229, vyhodnocovací jednotky VSE100, postupy a metody, software pro analýzu a vyhodnocování sesbíraných dat Efeotor Octavis, vše od firmy IFM.

13.2.1 Senzor vibrací VSA005

Jako senzory vibrací byly vybrány kapacitní akcelerometry VSA005 firmy IFM (Obr. 37)) a musí být připojen na externí vyhodnocovací jednotku VSE. Splňuje normy o elektrické kompatibilitě EN 61000-6-2, EN 61000-6-3 a EN 50178. [25]



Měřicí princip	Kapacitní
Měřicí rozsah	± 25 g
Frekvenční rozsah	0 – 10 kHz
Citlivost	0,2 mg/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Kontaktní teplota	-20 – 80°C

Obr. 37) Senzor vibrací VSA005 [25]

13.2.2 Vyhodnocovací jednotka VSE100

Jak už název napovídá, slouží k vyhodnocení dat ze senzoru vibrací VSA005. Je též od firmy IFM, aby byla zaručena bezproblémová kompatibilita. K jednotce lze připojit až 4 senzory vibrací, kdy informace z nich jednotka sbírá, ukládá a zpracovává. Jednotka má svoji interní paměť s možností zaznamenávání v reálném čase, proto je ale nutné nastavit vhodný interval. Její vstupy a výstupy lze různě kombinovat, pro firmu je ale nejdůležitější, že lze jednotku připojit k řídicímu programu stroje, takže si informace o aktuálních otáčkách bere z něj. Zároveň je výhodné i propojení s firemní datovou sítí, které umožňuje následné zpracování a zobrazení dat v programu Efactor Octavis. [26]



Obr. 38) Vyhodnocovací jednotka VSE100 [26]

13.2.3 Senzor teploty TS2229 s převodníkem

Pro snímání teploty byl namontován senzor TS2229 také od firmy IFM. Jde o senzor kontaktní s možností připojení k vyhodnocovací jednotce VSE100. Jeho měřicí rozsah je od -40°C do 90°C a měřicím elementem je Pt 100 splňující DIN EN 60751 třídy A. [27] Pro další zpracování získaných dat je potřeba signály o teplotě převést pomocí převodníku TP3231 na elektrické veličiny, nejčastěji proud, pomocí tzv. proudové smyčky 4 mA – 20mA. Měřicí rozsah převodníku je -50°C – 300°C , ve výrobě je ale nastaveno -50°C – 150°C . [28]



Obr. 39) a) Senzory teploty [27], b) Převodník [28]

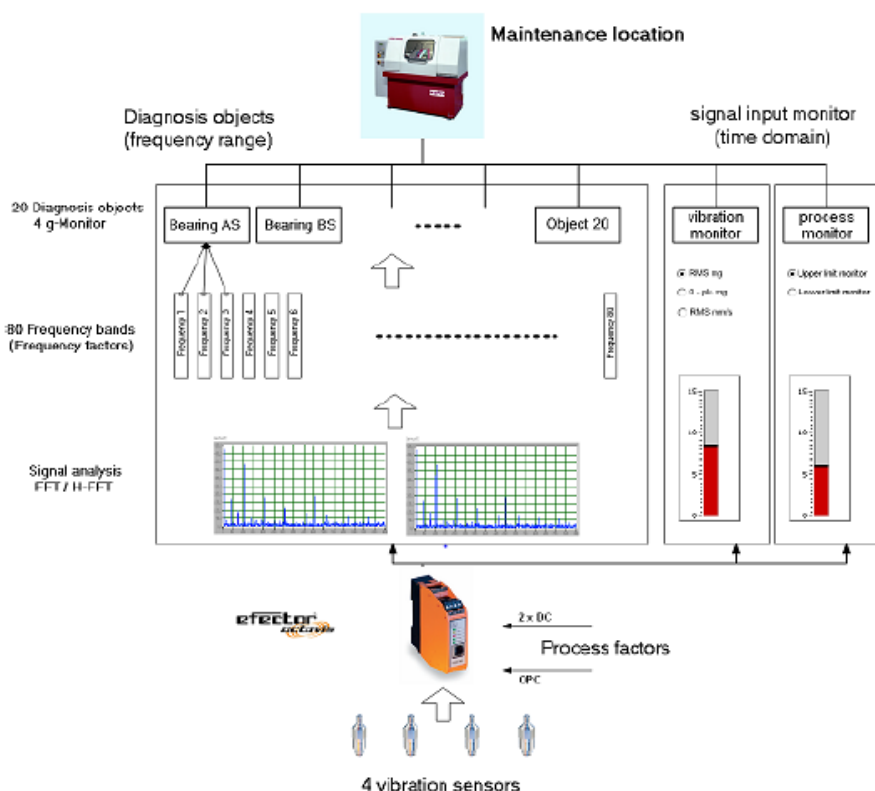
13.2.4 Efactor Octavis

Jako vhodný software pro ovládání, nastavení a řízení jednotek a senzorů, zmíněných výše, byl zvolen software Efactor Octavis (dále EO), taktéž od firmy IFM. Jde o software dodávaný firmou přímo pro monitorování vibrací a umožňuje nejen on-line monitorování podmínek s možností nastavení výstrahy (žlutá) a přerušení provozu (červená), ale i možnost sledování trendu díky interní historii a hloubkovou analýzu pomocí FFT nebo H-FFT tedy obálkové metody. Naznačení propojení softwaru s jednotkou VSE100 a možnosti softwaru samotného jsou naznačeny na Obr. 40).

Na obrázku lze vidět, že na jednotku můžou být připojeny až 4 senzory plus tzv. vstupy neboli procesní faktory. V Našem případě jde o propojení s PLC programem v počítači, který řídí proces zkoušení pump. Druhý vstup je využit pro senzor teploty s převodníkem. Následné nastavení sledovaných parametrů může být v časové nebo frekvenční oblasti. Jde-li o oblast frekvenční, lze nastavit až 24 diagnostických objektů, co jsou v našem pojetí přednastavené sledování RMS rychlosti dle normy ČSN ISO 10816, poruchových frekvencí ložisek

z databáze, nevyváhy a vlastních frekvencí. Celkově může software monitorovat až 80 konkrétních frekvenčních faktorů (frekvencí).

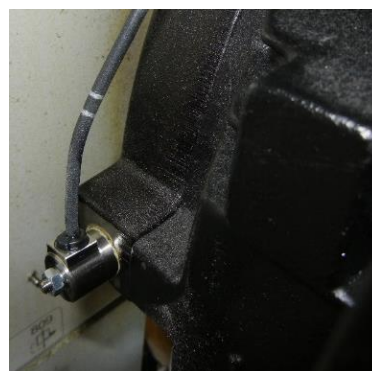
V časové oblasti si bere software informace ze dříve zmíněných vstupů, kdy jeden využívá pro vibrace a lze monitorovat třeba maximální hodnotu vibrací a druhý využívá pro monitoring teploty, těmto parametrům se v angličtině říká signal input monitor. Bližší práce se software bude vysvětlena dále při nastavování konkrétních parametrů vibrací.



Obr. 40) Schéma propojení a možností softwaru Efeotor Octavis [29]

13.3 Realizace a umístění nastavení

Na motorech jsou celkově připevněny tři senzory, dva vibrační a jeden teplotní. Senzory vibrací jsou upevněny pomocí šroubů, dodávaných přímo od dodavatele, v axiální a radiální směru. V radiálním směru jsou v horizontálním provedení krytu motoru co nejbližší přednímu ložisku (Obr. 41)). V axiálním směru jsou opět na krytu motoru, ale tentokrát u zadního ložiska, kde hlídá mimo jiné i odměřování. V případě, že by se porucha zadního ložiska nepodchytila, mohlo by dojít k poškození odměřování a celá následná oprava by se prodražila o desítky tisíc. Realizace a umístění axiálního vibračního senzoru vidíme na Obr. 36) b).



Obr. 41) Realizace radiálního vibračního senzoru na předním ložisku motoru

Senzor teploty je přidělán na kryt motoru stejným způsobem jako senzory vibrací, tedy šroubem. Jak vidíme na Obr. 36)b) je připevněn v radiálně axiálním směru u zadního ložiska.

14 PŮVODNÍ NASTAVENÍ PARAMETRŮ V EFECTOR OCTAVIS (EO)

Nastavení parametrů (diagnostických objektů a parametrů monitorování vstupního signálu) vibrací a teploty je popsáno a názorně ukázáno v následujících kapitolách.

14.1 Nastavení vibrací

Jak bylo řečeno, k jednotce jsou připojeny 2 senzory vibrací a na každý z nich jsou nastaveny 3 diagnostické objekty, a to nevývaha, RMS (v), a_eff 3,5-6k a jeden signal input monitor Peak (a_max). Na Obr. 42) vlevo vidíme jak jednotlivé senzory, tak i nastavené diagnostické objekty a monitorování vstupního signálu.

Nastavení diagnostického objektu lze rozdělit na několik částí (Obr. 42)). Jde o nastavení typu diagnostického objektu, frekvenčního faktoru, rychlosti a pracovního rozsahu, referenčních a limitních hodnot, historie ukládání, průměrování po sobě jdoucích hodnot, výpočet a analýza. Historie tedy interval záznamu chyb je u všech parametrů nastavený stejně na 10min.

The screenshot displays the configuration for 'Sensor 1 - unbalance'. Key settings include:

- Diagnosis object type:** Unbalance
- Teach value:** 1.0 mm/s (3800 rpm)
- Limit values Yellow:** 2.00 x Teach
- Limit values Red:** 6.00 x Teach
- Evaluation:** RMS
- Method of analysis:** FFT
- Filter:** not filtered
- Resolution:** 1.526 Hz (0.655 sec)
- Speed frequency:** 1.00
- Frequency factors:** 1.00
- Frequency window:** 5.00 %
- Working range:** 2500 - 3800 rpm
- Deviation:** control
- 2nd Working range:** not in use
- Averages:** 1/4
- Initialisation:** Continue averaging
- Re-entering the working range:** Restart averaging
- Response delay:** 5 (9.830 sec)
- Measurement category:** mm/s
- History:** 0 h 10 min

Obr. 42) EO – nastavené hodnoty pro parametr nevývaha

14.1.1 Nevývaha

Je vidět na Obr. 42), že otáčky k hodnocení nevývahy si jednotka bere z PLC. Pro snímání nevývahy je důležité, aby byly otáčky po jistou dobu konstantní. Z PLC programu víme, že k delšímu ustálení dochází mezi 2500 ot. /min a 3800 ot. /min, proto je takto nastaven Working range, parametr Deviation: control zajišťuje právě hlídání ustálenosti hodnoty otáček. Jednotka si počítá hodnoty úrovně vibrací v parametru efektivní hodnoty rychlosti RMS a pomocí FFT převádí na frekvenční spektrum. Frekvenčním faktorem 1 se myslí hlídání přesné frekvence rovné 1x otáčkové frekvenci a frekvenční okno udává rozmezí ve frekvenčním spektru $\pm 5\%$ okolo této otáčkové frekvence.

Tímto specifikujeme vše okolo frekvencí, ale je třeba nastavit především úroveň vibrací, pro nevývahu je v EO přednastavena vždy v jednotkách rychlosti. Dále se musí zvolit

referenční hodnota, zde odpovídající 1mm/s při 3800 ot. /min, a limitní hodnoty výstrahy (Yellow) a přerušení provozu (Red), zde nastaveny na 4mm/s a 6mm/s.

14.1.2 RMS (v)

Jde o jeden z nejdůležitějších parametrů v hodnocení vibrací. Ukazuje časový průběh, který pomáhá odhalit jak trend vývoje, tak je současně také měřítkem nebezpečí a škodlivosti mechanického kmitání. V programu EO je možnost přednastavení RMS pro rychlost podle normy ČSN ISO 10816-1. Není tedy třeba hlídat frekvenční rozsah nebo možnosti analýzy, jsou stejně jako u nevývahy přednastaveny, stejně jako frekvenční faktor a okno sledování frekvence. Jediné co je nutné zadat, jsou hodnoty pro Yellow a Red, které byly v našem případě 5 mm/s a 6 mm/s.

14.1.3 a_{eff} 3,5-6k

Tento diagnostický objekt sleduje projevy mechanického opotřebení ložisek a to v rozsahu 3,5 kHz až 6 kHz (proto i ten název). Pro výpočet frekvenčních oken a faktorů jsou zadány pevné otáčky 6000ot./min., ale je nutné hlídat si tyto vysoké frekvence na definovaném rozsahu otáček motoru 2500 – 4500 ot. /min. Na rozdíl od předchozích dvou hodnotí parametr zrychlení a vyjadřuje ho amplitudou Peak. Frekvenční faktor a okno jsou zadane tak, aby pokrývaly zmíněný rozsah výpočtem ze 6000ot./min. Limity jsou nastaveny na 500mg odpovídající 4,9 m/s² pro Yellow a pro Red na 600mg, tedy 5,8 m/s².

14.1.4 Peak (a_{max})

Jde o signal input monitor, tedy parametr ke snímání a vyhodnocení přímo hodnoty na analogovém vstupu IN 1. Tento parametr byl nastaven v rámci zkušeností z jiných strojů, kde kontroloval náhlé mechanické závady. Na těchto motorech není úplně využit, protože hlídá maximální zrychlení v omezeném pásmu nízkých frekvencí do 975Hz pomocí filtru s dolní propustí. Limity yellow jsou nastaveny na 5000mg (49m/s²) a red na 8000mg (78,5m/s²).

14.2 Nastavení teploty

Jak bylo zmíněno, senzor teploty s převodníkem je připojen na analogový vstup IN 2 a pomocí proudové smyčky jsou nastaveny meze senzoru. Hodnotě 4 mA odpovídá dolní hranice rozsahu převodníku -50 °C a 20 mA je ekvivalentní horní výrobní mezi 150°C. Toto nastavení je na Obr. 42) nahoře.

15 ANALÝZA A NOVÉ NASTAVENÍ PARAMETRŮ

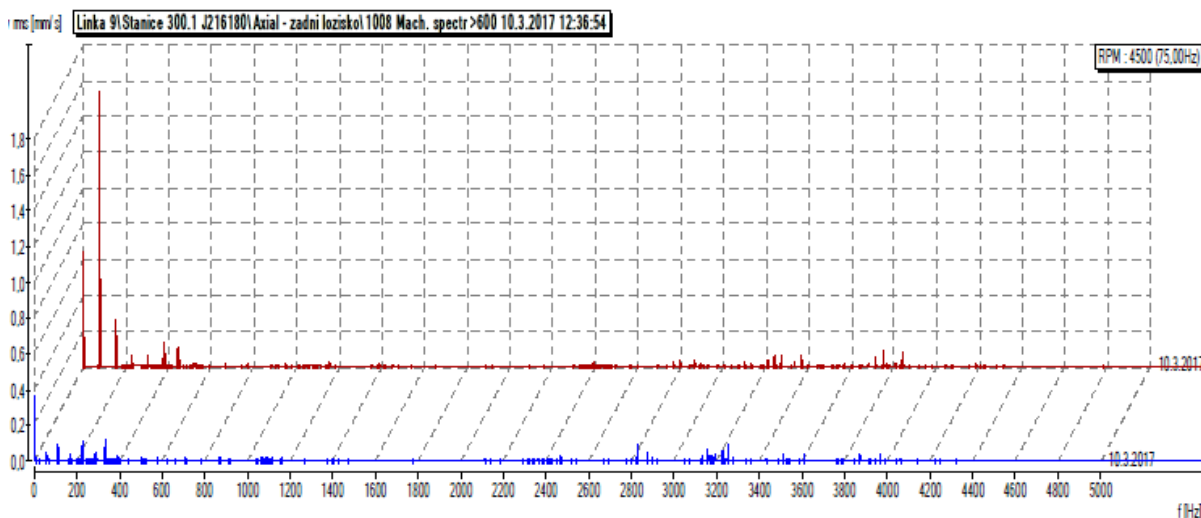
V této kapitole je zhodnoceno původní nastavení parametrů v softwaru Efector Octavis (EO) a jsou navrženy změny, ať už v optimalizaci limitů nebo celých parametrů, nebo přidání nových parametrů.

15.1 Nevývaha

Vezmeme-li to postupně, jak to bylo probráno v předchozí kapitole, tak nevývaha by měla limity nastavené relativně správně, kdyby motor pracoval stále při konstantních maximálních otáčkách. Ale vzhledem k tomu, že otáčky se mění podle programu v PLC je nutné limity upravit a snížit.

Aby byla tato úprava korektní a podložená, bylo provedeno měření s technikem údržby v axiálním a radiální směru pomocí přístroje VIBXpert II. firmy Prüftechnik při 4500 ot. /min. (červená linka na Obr. 43)), ve kterých se provádí pravidelná měření v rámci preventivní údržby TPM a pro které technik zná limity úrovně vibrací. Následně bylo stejné měření zopakováno při snížených otáčkách na 3500 ot. / min. (modrá linka na Obr. 43)), při kterých se ukládají data ze snímačů do jednotky, protože jsou to nejdéle ustálené otáčky.

Na Obr. 43) lze vidět porovnání frekvenčních polí při daných otáčkách. Na 75 Hz (4500 ot. /min.) se ukazuje nevývaha o rychlosti 1,52 mm/s, které odpovídá úroveň vibrací 0,1 mm/s při 58,3 Hz (3500 ot. /min). Po konzultaci byla limitní hodnota Yellow zvolena **1,5 mm/s** a Red **2 mm/s**, protože sice úroveň vibrací značně klesla s otáčkami, na druhou stranu je nutné zohlednit fakt, že měření bylo prováděno s koníkem a při reálném průběhu je motor více zatížený zkoušenou pumpou. Dále byla zohledněna data z historie a nastaveno sledování a hlídání prvních 6. harmonických frekvencí.



Obr. 43) Frekvenční spektrum ze zkoušky na nevývahu

15.2 RMS (v)

Výstrahy Yellow a Red byly nastaveny na 1,8mm/s a 4,5mm/s, což není dle normy úplně korektní, protože jde o nesprávné hranice pásem. Jak bylo zmíněno v kap. 7.6, volily se po konzultaci s technikem údržby limity dle normy pro menší stroje s výkonem do 15 kW, i když

dle výkonu jsou diagnostikované motory v kategorii výš. Jejich zatížení je ale pod hranicí maximálních otáček a tudíž je možné nastavit limity pro menší stroje, tedy Yellow na **4,5 mm/s** a Red na **7,1mm/s**.

15.3 A_eff 3,5-6k

Původně nastavené limity 500 mg a 600 mg jsou po převedení na m/s^2 a konzultaci s technikem neadekvátní. Limity dle technika pro 4500 ot. /min. jsou 12 m/s^2 a 15 m/s^2 , ty je ale potřeba vhodně upravit a tedy podrobit stejné korekci jako hodnoty nevývahy. Poté byly zvoleny hranice pro Yellow **306 mg** (3 m/s^2) a Red **408 mg** (4 m/s^2).

15.4 Peak (a_max)

Po zhodnocení byl tento parametr ponechán, protože na něj není aplikováno žádné průměrování a došlo-li by na stroji k nárazu nebo jinému mechanickému poškození, byl by senzor schopný nás na tuto situaci upozornit, i když se tak doteď nestalo, není vyloučeno, že by k tomu dojít nemohlo a hlídat to je jen výhodou.

15.5 Bearings

Tento parametr nebyl dosud na těchto motorech sledován, protože nebyly dostupné informace o typu ložisek a tedy i o jejich poruchových frekvencích. Protože proběhla v roce 2016 výměna ložiska na jednom ze strojů, bylo zjištěno, že jde o typ 6216-2Z/C3. Na vyměněném ložisku byly změřeny potřebné parametry a vypočteny frekvenční faktory. EO je schopný si tyto faktory dopočítat sám, ale nehlídá poruchovou frekvenci poškození klece ložiska. Dala by se tam přidat jako samostatný objekt, ale vzhledem k tomu, že je navázána přímo na ostatní poruchy ložiska, projeví se závady i na nich. Pro hodnotu limitů je v nápovědě k EO přímo doporučená tabulka pro nastavení těchto hodnot, kde jsem podle otáčkové frekvence nastavila Yellow na **250 mg** a Red na **450 mg**.

15.6 Teplota

Sledování teploty u těchto motorů bylo spíše informativní, na senzor nebyly přímo nastavené limity, které by si systém hlídal, jen takové meze aby EO ukládal data do paměti k vyhodnocení. Každopádně díky programu Reliance 4, ve kterém se zpracovaná vizualizace, dochází i k ukládání hodnot teplot a je tedy možné do EO nastavit limity právě z dat z historie programu EO. Tyto limity byly zvoleny jako **aritmetický průměr + dvě směrodatné odchylky 54°C** pro Yellow a **aritmetický průměr + tři směrodatné odchylky 62°C** pro Red.

16 VYHODNOCENÍ

V této kapitole je pozornost soustředěna na zhodnocení jednotlivých natavených parametrů jak vibrací, tak teploty. Nejdůležitější bude zaměření na ložiska a jejich poruchové frekvence, protože výrobu i údržbu nejvíce zajímá právě jejich stav a odhad jejich budoucí životnosti.

Pro zhodnocení parametrů byly využity záložky Monitoring a History. Záložka monitoring ukazuje stav a hodnoty parametrů v reálném čase, a to buď v podobě sloupcových grafů na Obr. 44), nebo pak možnost přepnutí na frekvenční spektrum Obr. 45), kde dále lze měnit metodu analýzy z FFT na H-FFT (obálková metoda).

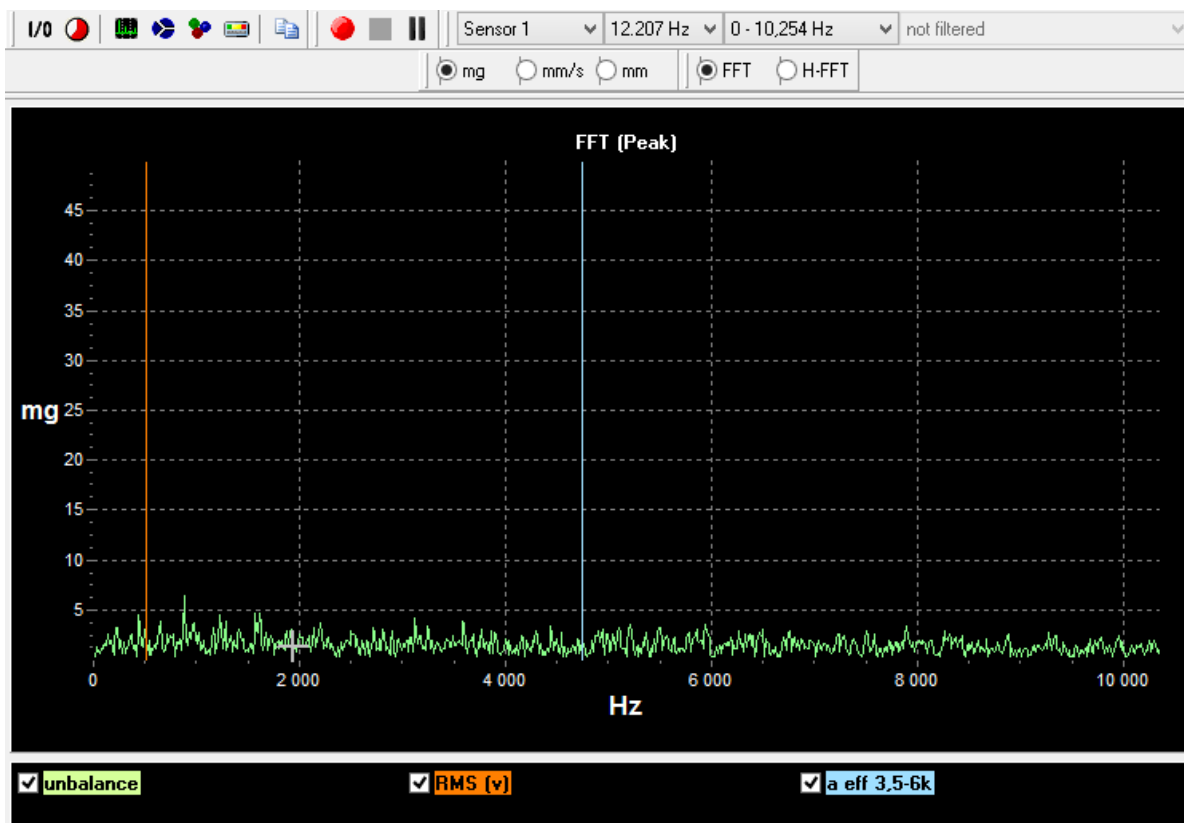


Obr. 44) Záložka EO Monitoring

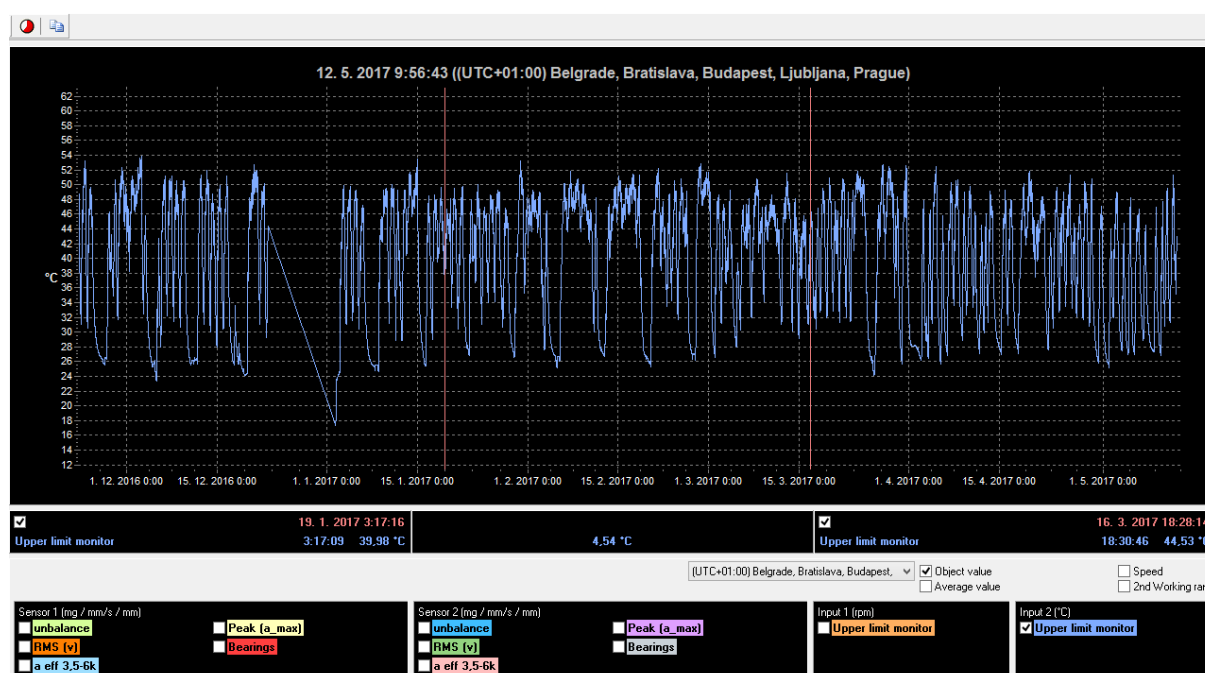
V záložce frekvenční analýzy (obr. 45) se zobrazují jak frekvenční značky zvolené poruchy, tak je možné zobrazit i aktuální průběh vibrací ve zrychlení (mg), rychlosti (mm/s) nebo výchylce (mm). Mohou být vyobrazeny harmonické frekvence ke zvolené značce. Problémem je, že jak se mění otáčky, mění se i frekvenční značky na nich závislé, ale zobrazené harmonické frekvence už ne. Proto bylo k nevyváze nastaveno několik harmonických frekvencí už při vytváření parametru.

V této záložce byla sledována ložiska a jejich poruchové frekvence a nevyváha. Pro jejich co nejpresnější odečtení si budeme měnit rozlišení a přibližovat si konkrétní oblast spektra.

Poslední záložkou pro získávání informací byla Historie (obr. 46). V té lze zobrazit a z ní vypočítat jak držení se v limitách u RMS tak především trendy jednotlivých parametrů. Z této záložky lze vyexportovat data do Excelu, a právě tato data sloužila ke zhodnocení. Dále si může být přiblížena jakákoli oblast, odfiltrovány parametry a zobrazeny hodnoty za různá časová období.



Obr. 45) Záložka frekvenční analýza



Obr. 46) Záložka historie

Nevýhodou záložky historie je ta, že i když u nevývahy, a_{eff} a ložisek jsou nastaveny jen frekvence, a kterých si má EO hlídat úroveň vibrací, ve frekvenčním spektru, tyto limity se zobrazují i v historii, tedy v časovém záznamu a mohou mást.

Celkově bylo sledováno 32 motorů zkušebních stanic CP4, které jsou umístěny vždy po čtyřech na jedné lince. Jednotlivé linky mají názvy Montážní Linka tedy ML a číslo 3, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13. Postupně byly hodnoceny jednotlivé motory ve všech jedenácti parametrech, deset z nich jsou signály vibrací, pět parametrů ze dvou senzorů, a jeden je signál o teplotě.

Pro připomenutí jsou v Tab 6) zopakovány limity pro Yellow, tedy výstrahu, a pro Red signalizující horní mez. Pro vyhodnocení dat z historie bylo zvoleno období jednoho měsíce od 18.4. - 18. 5. 2017. Obecně jsou k dispozici časové záznamy už od 1. 12. 2016, lze tedy sledovat trend. Z historie EO lze vyčíst průměrnou hodnotu, směrodatnou odchylku, procento hodnot, které překročily limitu Yellow a Red. Hodnoty v reálném čase byly zjištěny ze záložky Monitoring 18. a 19. 5. 2017 a zhodnoceny z hlediska překročení limit.

Tab 6) Limity jednotlivých parametrů

Nevývaha [mm/s]	RMS [mm/s]	A_eff [mg]	Bearings [mg]	Peak_max [mg]	Teplota [°C]
1,5	4,5	306	306	5000	54
2	7,1	408	408	8000	62

16.1 ML3

16.1.1 Motor 1

Tab 7) Vyhodnocení motoru 1 linky 3

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,333	0,42	1,46	0,288	0	0
Senzor 2	1,2	1,04	2,19	0,44	15,1	0,31
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,683	0,49	4,29	0,37	0	0
Senzor 2	1,017	0,655	5,269	0,53	0,025	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	30	43,6	211,58	27,55	0	0
Senzor 2	30	23,12	219,2	10,07	0	0,05
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	16	8	2			
Senzor 2	3	2	3			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5093		0,081	0
Senzor 2			7288		0,93	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	50	39,82	51,77	7,33	0	0

V Tab 7) je vyhodnocení jednotlivých parametrů na motoru 1 linky 3. Z hlediska nevývahy se ukazuje, že na obou senzorech se průměrné i aktuální hodnoty pohybují nízko a relativně daleko od mezí. Na senzoru 1 se neobjevila ani jedna hodnota přesahující limitu Yellow nebo Red, oproti tomu na senzoru 2 se 15% hodnot pohybuje v oblasti přesahující limitu Yellow. Toto navýšení bylo způsobené změnou nastavení parametru, přesněji jsem k nevývaze bylo donastaveno sledování několika harmonických frekvencí, přičemž program si vždy vezme maximální hodnotu na kterémkoli z podobjektů nevývahy, kterými jsou jednotlivé harmonické frekvence. Při náhledu do spektra bylo vidět, že se často více projevuje nesouosost

než nevývaha. Dalším zásahem byla změna snímání na přesnější, ale na druhou stranu méně časté, což též způsobilo navýšení, ale vrátila jsem se následně k původnímu rozlišení.

Z hlediska RMS už jsou v obou případech hodnoty větší, na prvním senzoru už se blíží maximální hodnota z historie limitě yellow a na senzoru 2 ji dokonce překračuje, ale v méně než 1% případů.

Sledování amplitud zrychlení ve vyšší frekvenční oblasti neukazuje známky poškození ložisek a podobně parametr hlídání poruchových frekvencí ložisek, ten sice ukazuje amplitudy, ale jejich velikost odpovídá jen drobnému, zatím neškodnému, poškození. Podle spektra je nejvyšší amplituda na poruchové frekvenci valivého tělesa. Amplituda zrychlení do 10 kHz ukazuje na obou senzorech překročení žlutého limitu do 1% případů a teplota dokonce ani jedné z limitních hodnot nedosahuje. Obecným závěrem je, že motor vypadá z hlediska sledovaných parametrů v **dobřím stavu** a prozatím není nutné věnovat speciální pozornost.

16.1.2 Motor 2

Tab 8) Vyhodnocení motoru 2 linky 3

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,45	0,386	1,306	0,294	0	0
Senzor 2	1,039	0,723	2,323	0,4843	11,5	0,21
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,84	0,58	5,11	0,44	0,07	0
Senzor 2	1,4391	0,855	8,35	0,766	0,32	0,18
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	254,6	284,65	697,76	102	40	5,77
Senzor 2	34,4	59,35	308,5	18,98	0,04	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	5	2,5	2,5			
Senzor 2	3	4	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5302		0,71	0
Senzor 2			4703		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	51	41,3	54,2	7,03	0,04	0

Na motoru 2 linky 3 se nevývaha začíná projevovat. Na senzoru 2 už 11,5% případů naznačuje překročení limit výstrahy, ale opět došlo k navýšení po experimentech s nastavením, proto tomu není přikládán až takový význam. Celková hodnota RMS se zvýšila, ale procento hodnot, které přesáhly limity pro RMS, není ani 1.

Kde ale došlo k navýšení, je sledování parametru efektivního zrychlení na snímači 1, tam 40% přesahuje limitu výstrahy a dokonce přes 5% i limitu Red. Při náhledu na frekvenční spektrum pomocí obálky se objevují velké výchyly, ale mimo mnou nastavené hodnoty poruchových frekvencí ložiska, proto lze doporučit tento motor prohlédnout s technikem údržby a provést měření, zda se tyto výchyly budou objevovat i jemu a zanalyzovat data hlouběji, jestli je v nich nějaký řád nebo nejsou navázány na poškození jiných komponent motoru. Zbýlé parametry tohoto motoru (Tab 8) už se pohybovaly v zelených hodnotách nebo jen občasně v hodnotách žlutých.

16.1.3 Motor 3

Tab 9) Vyhodnocení motoru 3 linky 3

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	1,493	1,14	2,7	0,53	14,6	7,23
Senzor 2	1,322	1,12	2,75	0,54	15,3	7,2
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	1,885	2,57	8,42	2,54	28,4	2,59
Senzor 2	3,058	2,68	9,9	2,67	28,52	4,53
a_{eff} 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	190	225	594	83,66	10,7	0,84
Senzor 2	55	46,9	257,5	16,83	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	6	8	6			
Senzor 2	4	2	2			
Peak (a_{max}) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			3484		0	0
Senzor 2			3266		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	44	40,9	53,69	7,03	0	0

Jak lze vidět v Tab 9) , nevyvaha se průměrně pohybuje kole 1,14 a aktuální hodnota dosáhla skoro 1,5, což je limit pro výstrahu, kolem 15% dat se pohybuje ve žlutém pásmu a skoro 7% v pásmu červeném. Opět došlo k navýšení z důvodů výše zmíněných, ale při pohledu na časový záznam od prosince 2016 je obecně nevyvaha vyšší a došlo i k nárůstu hodnot RMS, proto lze doporučit tento stroj na přeměření nevyvahy techniky údržby, podle nich rozhodnout o změně limitů pro tento motor i v softwaru.

Teplota i amplitudy zrychlení nevykazují žádné velké výkyvy. Na senzoru 1 skoro 11% hodnot efektivního zrychlení leží ve žluté oblasti, což by naznačovalo počátky poškození ložiska, které se ale na poruchových frekvencích komponent tohoto ložiska neprojevuje, naopak se opět objevují vysoké amplitudy zrychlení pravidelně rozmístěné ve spektru. Lze doporučit provedení analýzy těchto frekvencí, jejich rozložení je pravidelné a naznačuje buď poruchu některé z dalších komponent motoru, nebo i možnost, že by na tomto motoru mohla být jiná ložiska.

16.1.4 Motor 4

V Tab 10) níže lze vidět znovu drobný nárůst v nevyvaze a RMS, především na senzoru 2, kde hodnoty dosáhly i do červeného pole. Při náhledu na historická data ale obecně kolísá hodnota nevyvahy na tomto senzoru okolo vyšších hodnot než na jiných strojích, proto lze navrhnout kontrolu samotného senzoru a pro jistotu provedení měření rychlosti vibrací.

Zrychlení se průměrně také zvýšilo a na senzoru 1 naznačuje poškození ložiska, především na prvním senzoru. Mimo tyto amplitudy se opět objevují další vyšší, které je třeba prozkoumat hlouběji a zdůvodnit, protože je v nich jistá pravidelnost.

Tab 10) Vyhodnocení motoru 4 linky 3

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,2	0,334	1,9	0,287	0,04	0
Senzor 2	0,976	0,664	2,25	0,5	8,34	0,71
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,627	0,83	2,83	0,69	0	0
Senzor 2	0,81	1,46	7,09	1,39	0,55	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	203	253,8	631,9	91,5	23,97	1,42
Senzor 2	60	44,97	295,4	17,65	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	60	30	40			
Senzor 2	4	2	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			4699		0	0
Senzor 2			4011		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	45	39,34	51,8	6,96	0	0

16.2 ML5

16.2.1 Motor 1

Tab 11) Vyhodnocení motoru 1 linky 5

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	2,1	1,86	5,76	0,61	50,9	34,9
Senzor 2	4,5	3,42	12,41	1,27	0,33	93,43
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	1,613	1,96	5,82	0,997	0,28	0
Senzor 2	2,707	3,68	13,91	2,01	35,01	1,93
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	220	189	389	59,74	0,93	0
Senzor 2	70	56,9	191	8,94	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	6	4	4			
Senzor 2	1	2	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			3339		0	0
Senzor 2			2456		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	51	47,8	55,35	6,25	1,06	0

Lze sledovat, že červená barva v Tab 11) u nevývahy je do očí bijící, její hodnoty už se od začátku snímání pohybují vysoko a na senzoru 2 dokonce skoro 94% dat leží v oblasti přerušení provozu. Při náhledu na časová záznam kolísají hodnoty kolem 2mm/s už od doby umístění snímačů. Na základě toho doporučuji provést diagnostiku pomocí měřiče vibrací, budou-li v toleranci dle technika údržby, lze pak nastavit v EO pro tento motor vyšší meze. Potvrdí-li se **nevyváženost** stroje, pak je postup jasný. I teplota se o něco zvýšila. Ložiska ale vypadají relativně v pořádku a zatím nevyžadují pozornost.

16.2.2 Motor 2

Tab 12) Vyhodnocení motoru 2 linky 5

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	2,1	1,4	8,14	0,56	27,6	12,4
Senzor 2	3,119	2,24	4,46	0,8	15,63	74,8
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	3,319	3,3	11,78	1,97	29,1	1
Senzor 2	4,588	4,5	16,46	2,76	38,6	17,86
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	160	251	846	79,1	14,3	0,5
Senzor 2	65	50,5	291	12,1	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	12	12	20			
Senzor 2	4,5	7	5			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			15931		37,94	0,022
Senzor 2			13102		0	0,022
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	54	48,58	56,99	6,31	3,5	0

Nevývaha na motoru 2 narostla, na senzoru 2 dokonce skoro 75% dat z historie leží v červeném pásmu. Při náhledu na časový záznam od prosince 2016 bylo zjištěno, že hodnoty se kolísají kolem 1,5 mm/s a postupně se lehce zvyšují. Zvýšené hodnoty tohoto parametru mají vliv i na nárůst RMS, které i z hlediska trendu naroslo. Na tento motor lze doporučit proměření hodnot nevývahy a dle měření vyvážit.

Ve frekvenčním spektru, se nejen objevují amplitudy na daných poruchových frekvencích ložisek, ale i mimo ně, proto lze doporučit kompletní měření jak rychlosti, tak zrychlení vibrací a vyhodnocení těchto amplitud ve spektru. Teplota se lehce zvýšila, což může být důsledkem začínajícího poškození (Tab 12) .

16.2.3 Motor 3

Tab 13) Vyhodnocení motoru 3 linky 5

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,5	0,48	2,3	0,47	5,09	0,18
Senzor 2	0,5	0,72	3,17	0,62	11,5	5,5
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,99	1,19	3,5	0,59	0	0
Senzor 2	1,47	1,78	6,1	1	0,94	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	210	167,8	335	45,4	0,02	0
Senzor 2	32	32,36	183,7	7,45	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	4	6	90			
Senzor 2	6	5	8			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			6226		1	0
Senzor 2			2119		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	55	50,5	56,99	6,31	3,43	0

Změnou parametrů a nastavením harmonických frekvencí se na tomto motoru zachytila nedokonalá souosost stroje, protože 1. harmonická je na senzoru dva výrazně vyšší než nevyváha. Ale toto zvýšení ještě nijak výrazně neovlivnilo hodnoty RMS, tudíž bych z hlediska nevyváhy nebyla ještě k motoru tak kritická a řekla bych, že je ještě **v dobrém stavu**, v porovnání s jinými, které vyžadují proměření vibrací. Teplota se také o něco zvýšila, ale pouze 3% hodnot jsou za žlutou mezí.

Co ale potřebuje pozornost je vysoká výchylka na poruchové frekvenci vnitřního kroužku (Tab 13) , která může znamenat jeho začínající poškození, není sice ještě kritická, ale motor by měl být z hlediska této poruchové frekvence hlídán a sledován.

16.2.4 Motor 4

Tab 14) Vyhodnocení motoru 4 linky 5

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	1,02	0,418	1,76	0,32	0,19	0
Senzor 2	1,2	0,398	1,986	0,39	0,27	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,74	0,88	4,86	0,55	0,11	0
Senzor 2	0,834	1,01	6,38	0,67	0,82	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	12	149	460	45,7	0,16	0,05
Senzor 2	35	44,8	149	9,5	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	40	10	100			
Senzor 2	6	5	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5668		0,11	0
Senzor 2			7423		0,04	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	54	49,32	57,02	6,41	7,93	0

Tento motor je z hlediska všech parametrů v Tab 14) **v dobrém stavu**, nevyváha ani RMS nevykazují žádné vysoké hodnoty, ale na druhou stranu je poměrně vysoká výchylka na poruchové frekvenci vnitřního kroužku ložiska, čemuž odpovídají i o něco málo zvýšené hodnoty efektivního zrychlení na senzoru 1. Hodnota zatím nemusí znepokojovat, ale do budoucna je vhodné si tuto frekvenci více hlídat a tento motor půjde na přeložiskování určitě dříve, než jiné.

16.3 ML7

16.3.1 Motor 1

Nevývaha, jak lze vidět v Tab 15) , se projevuje už na obou senzorech, tudíž je nutné provést měření technikem údržby a zkontrolovat zjištěná data, protože se z hlediska historie pohybují hodnoty ve vyšších polohách. Potvrdí-li technik způsobilost tohoto motoru k provozu, lze navrhnout zvýšení limitů v EO pro toto zařízení. Z hlediska ložisek nám efektivní hodnota zrychlení říká, že se objevuje ve spektru poměrně mnoho vysokých frekvencí, které sice sedí jak do ložiskových frekvencí tak mnoho i mimo ně, což může být důsledkem nevyvážení motoru.

Tab 15) Vyhodnocení motoru 1 linky 7

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	1,256	1,004	2,699	0,53	10,63	4,9
Senzor 2	2,317	1,378	3,977	0,6	27,36	16,1
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	2,114	1,995	6,26	1,32	0,94	0
Senzor 2	2,648	2,89	7,831	1,99	22,78	0,25
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	359,6	365,8	818	148,8	22,4	44,35
Senzor 2	2,88	51,76	286	14	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	18	6	12			
Senzor 2	3	2	4			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			3457	1408	0	0
Senzor 2			2394	598	0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	50	43,3	53,77	8,33	0	0

16.3.2 Motor 2

Tab 16) Vyhodnocení motoru 2 linky 7

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,638	0,59	2,093	0,37	1,63	0,1
Senzor 2	0,787	0,689	1,991	0,37	1,7	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,503	0,696	7,24	0,4	0,13	0,022
Senzor 2	0,893	0,89	10,58	0,53	0,13	0,022
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	70,82	113	1066	49,2	0,18	0,34
Senzor 2	21,38	29,334	249,6	12,83	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	9	7	4			
Senzor 2	4	2	3			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			8754	2466	67,1	0,045
Senzor 2			7568	640	0,05	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	50	43,9	54,27	8,11	0,07	0

Tento motor vykazuje zvyšující se hodnoty nevývahy a také časté nárazové hodnoty zrychlení (Tab 16)), obecně ale **nepotřebuje zvýšenou pozornost**, protože většina parametrů je pod limity.

16.3.3 Motor 3

Tento motor vypadá ze všech hledisek v Tab 17) v **dobrém stavu**, neprojevuje se nevývaha, ani zvýšené hodnoty efektivních hodnot rychlosti ani zrychlení, a i teplota se pohybuje v zelené oblasti. Tento motor vypadá v pořádku.

Tab 17) Vyhodnocení motoru 3 linky 7

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,356	0,41	1,39	0,33	0	0
Senzor 2	0,857	0,53	1,916	0,36	0,9	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,479	0,686	3,126	0,355	0	0
Senzor 2	0,7005	0,822	5,98	0,49	0,16	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	75,7	117	696	54,8	0,28	0,15
Senzor 2	85,42	46,56	189	18,48	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	10	8	18			
Senzor 2	5	15	14,5			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5094		0,022	0
Senzor 2			3267		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	49	42,2	52,7	8,56	0	0

16.3.4 Motor 4

Z následující Tab 18) lze vidět, že tento motor je na tom stejně jako ten přechází a **nepotřebuje** naši zvýšenou **pozornost**, hodnoty jeho parametrů se ve více než 99% pohybují v zelené oblasti.

Tab 18) Vyhodnocení motoru 4 linky 7

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,581	0,256	1,033	0,23	0	0
Senzor 2	0,468	0,458	1,699	0,37	0,9	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,427	0,615	2,737	0,4	0	0
Senzor 2	0,969	0,965	6,11	0,85	0,48	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	8,22	105,25	582,6	32,06	0,22	0,03
Senzor 2	2,025	40,48	202	18,33	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	9	6	4			
Senzor 2	4	2,5	3			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5896		0,16	0
Senzor 2			2735		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	52	43,73	53,5	8,38		0

16.4 ML9

16.4.1 Motor 1

První motor na lince 9 **nevykazuje** výrazně **zhoršený stav**, většina parametrů překročí limitní hodnotu ani ne v 1% případů, kromě peak_max, který monitoruje různé nárazy při nízkých frekvencích, se 40% hodnot pohybuje ve žlutém pásmu (0, ale při pohledu na časový záznam je vidět, že se v těchto oblastech pohybuje už od začátku monitorování motorů. Obecně tento motor **nepotřebuje** zvýšenou **pozornost**.

Tab 19) Vyhodnocení motoru 1 linky 9

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,492	0,47	2,05	0,4	0,219	0,027
Senzor 2	1,089	0,56	1,5	0,3	0,027	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	1,084	1,9	4,73	1,12	0,068	0
Senzor 2	1,16	1,64	3,906	0,93	0	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	22	28,1	254	13,03	0	0
Senzor 2	90	81,4	435,7	20,43	0,057	0,057
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	1,5	1	1,7			
Senzor 2	5	6	16			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			2634		0	0
Senzor 2			6368		40,2	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	51	48,1	56,89	7,111	5,17	0

16.4.2 Motor 2

Jde o jediný motor, na kterém již proběhlo přeložiskování, proto i většina hodnot stěží dosahuje žlutého pásma. Tento motor **nevyžaduje zvýšenou pozornost**. (Tab 20)

Tab 20) Vyhodnocení motoru 2 linky 9

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,5	0,37	1,24	0,27	0	0
Senzor 2	0,75	0,55	1,59	0,32	0,027	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	3,011	0,705	3,813	0,35	0	0
Senzor 2	1,997	0,907	4,7	0,47	0,022	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	38	48,7	617	35,1	0,16	0,13
Senzor 2	31	35,7	166	11,1	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	7	3	3			
Senzor 2	3	2,1	1,85			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			6381	1751	1,14	0
Senzor 2			6673	1028	0,25	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	50	47,5	55,57	7,24	2,9	0

16.4.3 Motor 3

Další motor linky 9 podle Tab 21) , který vzhledem k hodnotám parametrů **nevykazuje zhoršení stavu**.

16.4.4 Motor 4

V Tab 22) je vidět, že jsou zvýšené hodnoty nevývahy, ale zatím se jen 10% pohybuje ve žluté oblasti. Toto zhoršení se projevilo i na zvýšení parametru RMS, kde už celých 20%, leží

v oblasti výstrahy, což mohly způsobit stejné příčiny, které nárazově ukazují vysoké výchylky zrychlení.

Tab 21) Vyhodnocení motoru 3 linky 9

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,2	0,238	0,968	0,24	0	0
Senzor 2	1,7	0,485	1,657	0,36	0	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,553	0,576	3,413	0,23	0	0
Senzor 2	0,703	0,962	8,1	0,5	0,09	0,02
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	160	69,8	316	25	0,027	0
Senzor 2	23	27,7	256,6	9,47	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	3	9	4			
Senzor 2	6	3	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			4842		0	0
Senzor 2			3041		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	50	46,7	55,26	6,75	0,39	0

Tab 22) Vyhodnocení motoru 4 linky 9

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,7	0,544	1,489	0,305	0	0
Senzor 2	0,64	0,775	2,347	0,44	9,53	0,082
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	1,3	1,753	6,26	148	6,16	0
Senzor 2	1,67	2,61	9,68	2,12	20,77	3,27
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	16	81,42	543	35,2	0,16	0,13
Senzor 2	16	27,27	296	13,5	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	6	3	5			
Senzor 2	1	2	1			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			4508		0	0
Senzor 2			11181		5,17	0,61
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	51	47,46	56,5	7,22	2,74	0

16.5 ML10

16.5.1 Motor 1

Na prvním motoru linky 10 podle Tab 23) lze vidět, že se objevuje ve spektrech vyšší hodnota amplitudy na otáčkové frekvenci, signalizující nevývahu, ale ještě nedošlo k výraznému zhoršení RMS, takže lze navrhnout proměření parametru nevývahy technikem údržby. Ostatní parametry nevykazují zhoršený stav zařízení.

Tab 23) Vyhodnocení motoru 1 linky 10

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	1	0,84	2,256	0,42	5,51	0,76
Senzor 2	1,086	0,26	2,7	0,53	27,9	5,77
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,813	1,078	3,23	0,52	0	0
Senzor 2	0,979	1,597	5,49	0,85	0,16	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	25	117,36	737	45,18	0,08	0,35
Senzor 2	27	36,31	263,2	15,79	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	4	2	10			
Senzor 2	1	3	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			7981		0,37	0
Senzor 2			3981		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	52	48,42	55,59	6,72	2,84	0

16.5.2 Motor 2

Tab 24) Vyhodnocení motoru 2 linky 10

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,7	0,52	1,76	0,25	0,05	0
Senzor 2	1,108	0,97	2,18	0,4	18,25	0,27
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,58	0,83	4,18	0,35	0	0
Senzor 2	1,146	1,43	7,5	0,67	0,23	0,02
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	168	205	765	109	9,4	6,11
Senzor 2	18	24,57	262	10,2	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	15	7	7,8			
Senzor 2	3	1	1			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5572		27	0
Senzor 2			13287		7,28	0,8
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	54	49,8	57	7,17	23,03	0

Jak naznačuje Tab 24) na tomto motoru se zvýšily hodnoty nevývahy a lze doporučit proměření technikem údržby. Ve spektru se také objevuje mnoho amplitud zrychlení, které jednak odpovídají poruchovým frekvencím ložisek, ale některé se opakují. Při měření nevývahy se lze změřit i na zrychlení a hlubší analýzu těchto amplitud a jejich frekvencí.

16.5.3 Motor 3

Parametry RMS a nevývahy jasně udávají, jak z hlediska průměrných hodnot tak z hlediska trendu, že motor se začíná projevovat na nevývahu, lze tedy doporučit proměření a případně vyvážení. Ostatní parametry v Tab 25) jsou jen občasné zvýšené, ale jinak se jiné poruchy ve spektru neprojevují.

Tab 25) Vyhodnocení motoru 3 linky 10

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	3,083	4,999	11,157	1,96	0,468	93,9
Senzor 2	3,075	7,527	16,97	2,99	0,05	94,36
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	1,521	4,628	11,525	2,64	46,26	16,32
Senzor 2	4,008	6,97	17,853	4,07	18,38	59,36
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	50	57,262	669,6	29,03	0,11	0,19
Senzor 2	30	36,108	250,6	11,6	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	5	4	7			
Senzor 2	3	3	4,5			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5091	770	0,023	0
Senzor 2			1979	485	0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	56	49,89	57,6	6,75	22,09	0

16.5.4 Motor 4

Tab 26) Vyhodnocení motoru 4 linky 10

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,5	0,63	1,566	0,28	0,027	0
Senzor 2	2,25	1,08	2,44	0,4	13,9	0,81
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,75	1,05	6,1	0,6	0,022	0
Senzor 2	1,4	1,635	6,33	0,94	0,8	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	42	70,43	1359	51,78	0	0,3
Senzor 2	17	26,58	350	14,17	0,028	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	3	3,5	2			
Senzor 2	2	2	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5893		0,66	0
Senzor 2			10505		0,48	0,06
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	52	47,9	54,7	6,25	0,7	0

Z Tab 26) vidíme lehký nárůst nevývahy, ale zatím se projevuje jen na senzoru 2 a neprojevuje se tolik v RMS, tudíž lze doporučit sledování motoru, ale **nepotřebuje** okamžitý **zásah**, protože ostatní parametry se vychylují do žluté oblasti jen minimálně.

16.6 ML11

16.6.1 Motor 1

Podle červené barvy u parametru nevývahy v Tab 27) , kdy 35% hodnot je nad úrovní horní meze, z hlediska trendu došlo též k nárůstu jak RMS tak nevývahy, proto lze doporučit přednostní proměření tohoto motoru a následně i **vyvážení motoru**, protože už došlo i ke zhoršení hodnot RMS, kdy skoro třetina je v červené zóně. Velmi často dochází i k výchyilkám zrychlení, které by se mohli snížit po vyvážení zařízení.

Tab 27) Vyhodnocení motoru 1 linky 11

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,75	1,61	4,39	0,81	25,2	34,8
Senzor 2	0,9	1,63	3,57	0,74	23,7	35,7
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	2,055	3,34	9,06	2,38	44,5	0,57
Senzor 2	1,931	4,43	12,38	3,25	3,09	24,29
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	220	81,7	761	47,6	0,28	0,54
Senzor 2	25	30,6	324,5	30,6	0,07	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	4	5	4,8			
Senzor 2	5	2	3			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			8057		61,26	0,02
Senzor 2			4440		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	47	46,7	57,2	8,45	19,59	0

16.6.2 Motor 2

K tomuto motoru chybí data z aktuálního měření, protože byly problémy s jednotkou připojení k ní, každopádně bude-li vycházeno z historických dat a Tab 28) a z trendu, tak stroj potřebuje přeměřit nevývahu, jelikož hodnoty kolísají ve vyšších hodnotách už od počátku monitorování. Bude-li potvrzena způsobilost stroje k provozu. Lze přenastavit limity v EO. Ale je také možné, je problém se samotným senzorem, takže je vhodné ho zkontrolovat, a bude-li v pořádku, tak přeměřit nevývahu a podle výsledků operovat.

Tab 28) Vyhodnocení motoru 2 linky 11

Nevývaha [mm/s]	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	2,95	4,59	0,84	0,63	92,95
Senzor 2	3,86	5,628	1,09	0,16	93,73
RMS [mm/s]	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	2,86	6,46	1,9	16,03	0
Senzor 2	4,062	9,23	54,5	54,5	9,8
a_eff 3,5-6k [mg]	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	49,42	557	25,52	0,2	0,03
Senzor 2	21,37	315	12,2	0,035	0
Peak (a_max) [mg]		Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1		6375		27,9	0
Senzor 2		1892		0	0
Teplota [°C]	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	45,68	55,63	8,09	5,73	0

16.6.3 Motor 3

U tohoto motoru se zvýšilo RMS a při zkoumání spekter bylo zjištěno, že se objevuje velké množství amplitud ve zrychlení, které potřebují bližší zkoumání a navrhuji, proměření tohoto stroje k objasnění těchto amplitud a jejich hloubkové analýze. Ložiska zatím vypadají v pořádku dle Tab 29) .

Tab 29) Vyhodnocení motoru 3 linky 11

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,515	0,34	1,744	0,35	0,32	0
Senzor 2	0,532	0,63	2,17	0,39	2,32	0,09
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,901	1,66	7,33	1,54	1,42	0,023
Senzor 2	1,125	2,25	6,93	2,18	27,06	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	32	235	1134	86,15	7,9	1,56
Senzor 2	340	29,26	294	11,53	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	7	12	5			
Senzor 2	2	2	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			7111		0,33	0
Senzor 2			1658		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	46	46,7	56,8	8,04	10,27	0

16.6.4 Motor 4

Tab 30) Vyhodnocení motoru 4 linky 11

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,19	2,13	4,82	0,83	16	67,84
Senzor 2	6,1	3,97	7,46	1,48	2,24	88,9
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,487	1,81	7,022	1,15	0,04	0
Senzor 2	3,025	3,25	7,94	2,2	40,5	0,22
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	22	49,9	807,65	38,7	0,18	0,31
Senzor 2	21	21,46	311,3	12,21	0,065	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	5	7	10			
Senzor 2	4,5	3,5	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			8603		62,67	0,09
Senzor 2			13069		6,52	0,9
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	47	47,8	57,4	7,97	23,03	0

Z hlediska hodnot nevývahy červená barva mluví jasně, narostly i hodnoty RMS, ale při náhledu na časové záznamy je vidět, že hodnoty kolísají po celou dobu okolo 2mm. Lze tedy spíše, než hned vyvažovat, doporučit proměření nevývahy a případně zvýšit limity nastavené v EO. Opět se ve spektrech objevují výrazné amplitudy, jejichž bližší analýzu lze také doporučit. I teploty se z 20% zvýšily do nad limitu výstrahy, proto je nutné věnovat tomuto motoru výraznou pozornost.

16.7 ML12

16.7.1 Motor 1

Tab 31) Vyhodnocení motoru 1 linky 12

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,406	1,2	2,5	0,45	22,24	2,64
Senzor 2	0,551	1,56	3,76	0,63	32,26	22,98
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,828	1,24	3,05	0,6	0	0
Senzor 2	0,757	1,64	3,95	0,97	0	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	30	92,45	505,4	66,08	0,19	0,08
Senzor 2	32	49,23	412,6	23,12	0,23	0,03
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	5,6	5,2	8,5			
Senzor 2	5,6	2,7	1,9			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			6073		22,29	0
Senzor 2			2715		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	51	50,66	57,82	7,31	42,26	0

Na tomto motoru došlo k výraznému zhoršení parametru nevývaha, který v 22% přesahuje výstrahu na senzoru 1 a dokonce o 23% i horní mez na senzoru 2, vzhledem k těmto hodnotám z Tab 31) Při pohledu na trend se nevývaha i RMS mírně zvýšilo, proto lze doporučit provedení měření rychlosti vibrací a objasnit vysoké hodnoty RMS a potvrdit zhoršující se nevyváženost. Občasné se objevují vysoké amplitudy zrychlení a motor se též více zahřívá. Motor je vhodné doporučit na hlubší analýzu.

16.7.2 Motor 2

Tab 32) Vyhodnocení motoru 2 linky 12

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,179	0,3	0,303	1,165	0,31	0
Senzor 2	0,765	0,5	0,475	1,629	0,24	0,026
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,437	0,698	2,544	0,29	0	0
Senzor 2	0,559	0,77	3,94	0,33	0	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	110	55,35	435,2	21,52	0,11	0,05
Senzor 2	70	87,55	311	14,42	0,03	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	2	2	1			
Senzor 2	3,5	1	1			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			5353		0,48	0
Senzor 2			3513		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	54	48,35	55,16	6,53	1,32	0

Na rozdíl od předchozích motorů **nevyžaduje** tento žádnou zvýšenou **pozornost**. Většina parametrů, kromě teploty, se pohybuje pod limitou výstrahy nebo ji překročí v méně než 1% případech. Vše v Tab 32) .

16.7.3 Motor 3

V Tab 33) níže lze vidět, že na senzoru 2 jsou zvýšené hodnoty nevývahy a i celkově RMS, ve zrychlení se žádné velké výkyvy neukazují a teplota jen asi v 5% hodnot přesahuje do žluté barvy. Z hlediska ložisek se motor zdá být v dobrém stavu.

Tab 33) Vyhodnocení motoru 3 linky 12

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,268	0,597	1,22	0,24	0	0
Senzor 2	0,75	1,118	2,35	0,43	16,29	2
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	1,366	2,51	5,06	1,19	0,48	0
Senzor 2	1,831	5,64	11,85	1,48	42,39	34,5
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	64	59,22	290,9	19,5	0	0
Senzor 2	56	415	233,4	8,14	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	3	10	4			
Senzor 2	4,5	12	2,5			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			8912		0,94	0,09
Senzor 2			1998		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	54	49,3	56,016	6,6	5	0

16.7.4 Motor 4

Tab 34) Vyhodnocení motoru 4 linky 12

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,229	0,36	1,112	0,28	0	0
Senzor 2	0,75	0,59	1,585	0,3	0,13	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,42	0,805	4,48	0,38	0	0
Senzor 2	0,683	1,053	5,17	0,48	0,16	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	55	56,64	544	25,5	0,13	0,1
Senzor 2	18	38,3	456	20,21	0,14	0,03
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	5	3	4,5			
Senzor 2	4,5	12	2,5			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			6739		53,76	0
Senzor 2			1934		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	55	50,41	57,48	7,1	29,27	0

Motor, charakterizovaný výsledky v Tab 34) , je z hlediska nevývahy v dobrém stavu, jedině, co lze **doporučit k prozkoumání**, jsou časté zvýšené amplitudy zrychlení, které nejsou projevem poruch ložiskových komponent. Možná i kvůli nim se motor může zahřívat na vyšší teploty, než je limita výstrahy.

16.8 ML13

16.8.1 Motor 1

Na prvním motoru linky 13 lze vidět, že nejeví známky nevývahy ani zvýšené hodnoty RMS, i zrychlení, ať už z hlediska jeho sledování v oblasti nižších nebo vysokých frekvencí, neukazuje na opotřebení ložisek. Motor se pouze o něco více zahřívá, ale nijak kriticky. Tento motor lze hodnotit jako motor **v dobrém stavu**.

Tab 35) Vyhodnocení motoru 1 linky 13

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,397	0,41	1,55	0,32	0,026	0
Senzor 2	0,403	0,673	1,883	0,27	0,06	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,446	0,885	4,46	0,39	0	0
Senzor 2	0,27	1,46	7,25	0,7	0,48	0,045
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	100	80,28	1045	35,68	0,05	0,13
Senzor 2	120	148,8	378,8	30,9	0,3	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	7	5	5			
Senzor 2	12	3	2			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			6212		0,28	0
Senzor 2			3640		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	52	50,09	57	6,66	22,62	0

16.8.2 Motor 2

Tab 36) Vyhodnocení motoru 2 linky 13

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,639	1,538	2,295	0,46	61,45	4,93
Senzor 2	1,917	2,122	3,234	0,63	18,32	69,62
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	2,375	1,78	5,29	0,8	0,025	0
Senzor 2	1,9	2,53	7,082	1,18	1,05	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	145	144,5	827	48,8	0,06	0,26
Senzor 2	48	61,12	393,9	19,67	0,17	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	8	5	22			
Senzor 2	2	3	3			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			8660		1,18	0,028
Senzor 2			3384		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	52	49,1	56,55	7,06	11,15	0

Motor 2 linky 13 vykazuje, oproti předchozímu motoru, výrazné známky nevývahy a to na obou senzorech a jeho teploty se mírně zvýšily. Lze doporučit změření motoru na nevývahu a následně při potvrzení hodnot zařízení vyvážit.

16.8.3 Motor 3

Z údajů v Tab 37) lze vyčíst, že na obou senzorech byly zaznamenány zvýšené hodnoty nevývahy a na senzoru 2 dokonce 95% hodnot leželo v červené zóně. V náhled do časových záznamů ale bylo zjištěno, že vysoko hodnoty nevývahy kolísají už d počátku monitorování, a proto lze motor doporučit spíše na přeměření nevývahy a nastavení vyšších limit. Dále se ve spektrech opět objevují vysoké amplitud zrychlení. Proto lze doporučit přeměření motoru technikem údržby, hodnocení nevývahy i zrychlení a u něj i hlubší analýzu, pro zjištění příčin vibrací.

Tab 37) Vyhodnocení motoru 3 linky 13

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	1,042	1,396	2,314	0,377	32,86	1,04
Senzor 2	3,077	3,124	4,407	0,77	0,24	94,8
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,225	1,423	3,029	0,59	0	0
Senzor 2	0,182	3,22	6,86	1,48	6,42	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	88	85,13	603	32,24	0,18	0,24
Senzor 2	20	38,316	331,2	14,31	0,06	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	3	5	10			
Senzor 2	6	3	6			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			7869		80,8	0
Senzor 2			3265		0	0
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>54	%>62
	49	47,1	53,7	5,99	0	0

16.8.4 Motor 4

Tab 38) Vyhodnocení motoru 4 linky 13

Nevývaha [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>1,5	%>2
Senzor 1	0,423	0,186	1,105	0,18	0	0
Senzor 2	0,632	0,226	1,96	0,19	0	0
RMS [mm/s]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>4,5	%>7,1
Senzor 1	0,625	0,788	3,653	0,3	0	0
Senzor 2	0,778	1,023	6,019	0,456	0,045	0
a_eff 3,5-6k [mg]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>306	%>408
Senzor 1	50	46,03	560	20,43	0,1	0,08
Senzor 2	35	55,81	196,7	15,7	0	0
Bearings [mg]	BFS	BFO	BFI			
Senzor 1	5	3	9			
Senzor 2	2	2	4			
Peak (a_max) [mg]			Max z dat		%>5000	%>8000
Senzor 1			6741		31,45	0
Senzor 2			8406		0,48	0,03
Teplota [°C]	Aktuální	Průměr z dat	Max z dat	Směr. odch.	%>m154	%>62
	52	49,74	57,07	7,27	21,98	0

Z hlediska nevývahy nejeví tento motor žádné známky poruchového stavu a ani jiné hodnoty výrazně nesignalizují problém. Tento motor lze hodnotit jako zařízení v **dobrém stavu**.

16.9 Shrnutí

Zhodnocením všech motorů z hlediska celkově jedenácti parametrů, po pěti na dvou senzorech a jeden parametr sledování teploty, jsem došla k závěru, že 20 motorů nevyžaduje v současnosti žádný zásah, 6 lze doporučit na přeměření z hlediska nevývahy a případně zvýšit limity v EO a 6 vyžaduje přednostní změření na nevyváženost nebo kontrolu stavu mechanického opotřebení ložisek. Přehled těchto motorů je v Tab 39) .

Tab 39) Tabulka celkového vyhodnocení

Dobrý stav	ML3.1	ML3.2	ML3.4	ML5.3	ML5.4	ML7.2	ML7.3	ML7.4	ML9.1	ML9.2
	ML9.3	ML9.4	ML10.1	ML10.2	ML11.3	ML12.2	ML12.3	ML12.4	ML13.1	ML13.4
Změření a zvýšení limit	ML3.3		ML5.1	ML10.3		ML11.2		ML11.4		ML13.2
Zásah	ML5.2	ML7.1		ML10.4		ML11.1	ML12.1		ML13.3	

Vzhledem k tomu, že před vyvážením musí být provedeno proměření vibrační technikem údržby, lze navrhnout kompletní měření v plném rozsahu, při kterém by se zanalyzovaly vysoké amplitudy zrychlení, objevující se ve frekvenčním spektru. Projevují se na 112,5 Hz, 225 Hz, 337,5 Hz a 450 Hz. Vzhledem k jejich pravidelnosti rozložení, je možné, že na všech motorech nemusí být stejná ložiska a tyto frekvence jsou poruchovými frekvencemi odlišných ložisek, které se mohou lišit počtem kuliček a jejich velikostí. Výrobce motorů není ochotný informace o ložiscích sdělit. Tuto teorii nelze potvrdit ani vyvrátit, dokud nebude odstávka stroje nebo jeho porucha, a dojde k jeho rozebrání.

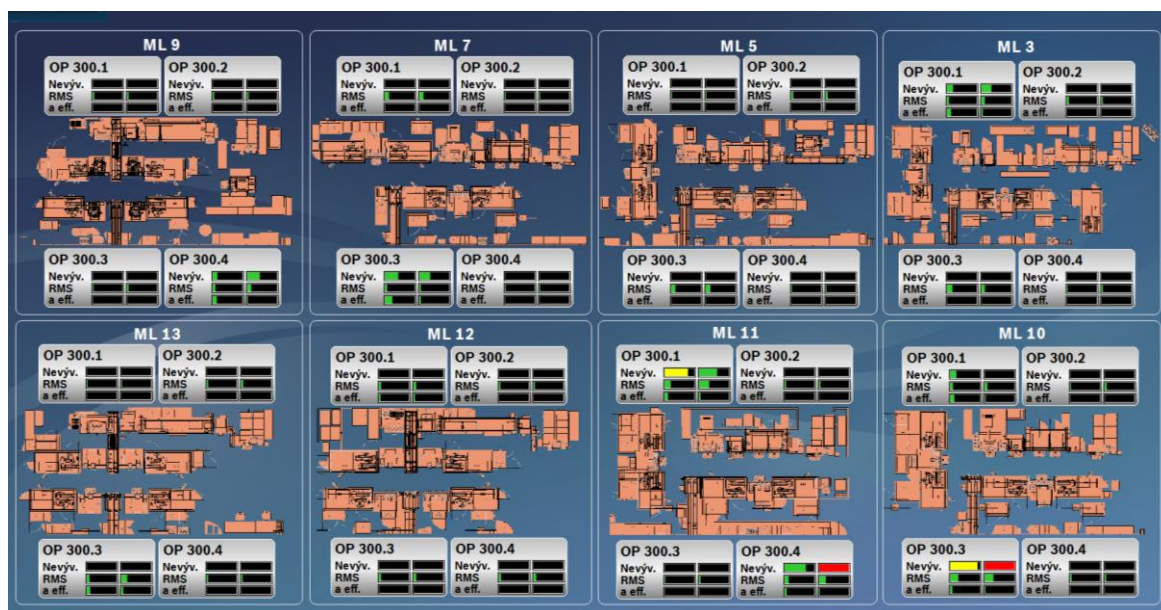
Další pravidelná a vysoká amplituda zrychlení se objevuje na 2800 Hz a 2900 Hz a také 3200 Hz a 3350 Hz. A potom další ve vysokých frekvencích od 6000 Hz do 10 000 Hz. Je možné, že některé amplitudy jsou způsobeny rázy od měřené pumpy, která se snaží stlačit palivo, které je nestlačitelné a během celého procesu zkoušení motor zatěžuje. Neprojevují se na něm tedy jen vibrace jeho součástí a komponent, ale též vibrace od pumpy připojené přes lamelovou spojku.

Proto je lze především doporučit proměření těchto 6 motorů a zhodnotit jejich stav. Bude-li tento stav dle výsledků diagnostika souhlasit s údaji, které jsou dostávány od senzorů, bude tím potvrzena i jejich správná funkčnost a nastavení. Dále lze navrhnout rozebrání a analýzu frekvenčního spektra, dohledat příčiny vysokých amplitud zrychlení a zhodnotit, zda je též zahrnout do monitorování a nastavení jednotek, jestli jsou kritické pro technický stav motoru a ovlivňují ho.

17 VIZUALIZACE

Tato kapitola pojednává o aplikaci průmyslu 4.0 v praxi, protože právě vizualizace byla jedním z pilířů této tzv. 4. průmyslové revoluce. I když je nejdůležitějším cílem diagnostiky a monitorování správně interpretovat a vyhodnotit získaná data, což je prací zkušených techniků, je nutné tyto informace předat dále a to vedení, popř. lidem ve výrobě a u strojů. Ti ale už nejsou odborníky, a proto se využívá vizualizace. Její jednoduchost, přehlednost a schopnost podat informace snadno a rychle znamená pro manažery rychlejší přehled o situaci a může usnadnit proces rozhodování. Pro vytvoření vizualizace byl z předchozích zkušeností využit software Reliance 4.

Přehlednost je tedy základním atributem, proto byly motory rozděleny podle jednotlivých linek a jak vidíme na Obr. 47), všech 8 linek se vešlo na jednu obrazovku v podobě miniatur. Nad každou miniaturou je název linky, a shora i zespodu je obklopena dílčími hodnotami parametrů na jednotlivých motorech v podobě panelů ukazujících zelenou, žlutou nebo červenou barvou aktuální úroveň tohoto parametru na konkrétním stroji. Překročení limity výstrahy se projeví změnou na žlutou barvu a překročením horní meze se barva změní na červenou.

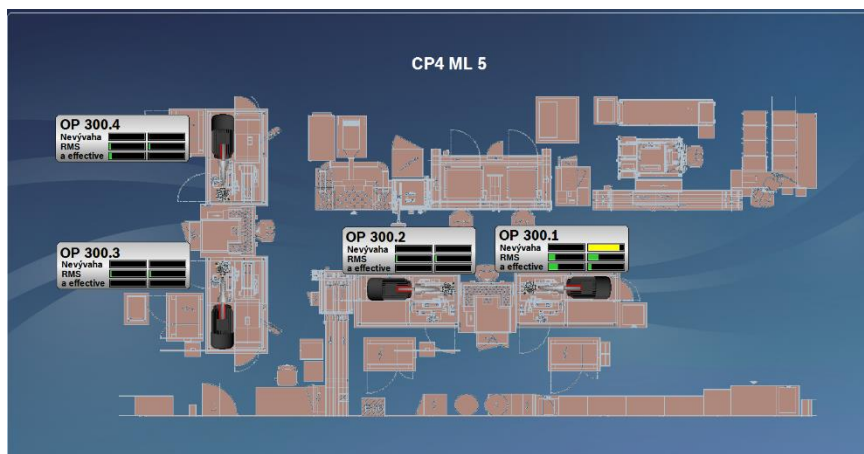


Obr. 47) Hlavní panel vizualizace motorů montážní linky CP4

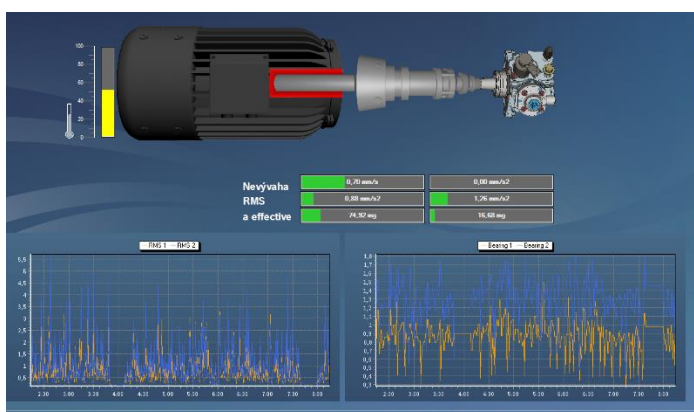
Po kliknutí na konkrétní linku se nám rozbalí další úroveň, kdy se nám na celou obrazovku zobrazí jen jedna námi vybraná linka jako na Obr. 48). Zde už lze vidět celou linku o něco větší a také umístění jednotlivých motorů na strojích. Miniatury motorů jsou opět doplněny panely se zobrazením aktuálních hodnot snímaných parametrů.

Klikneme-li na konkrétní motor, zobrazí se nám už miniatura samotného motoru (Obr. 49)), která je pohyblivá a animací demonstrovuje celý proces zkoušení pumpy CP4, od jejího připojení k motoru, průběhu zkoušky až do odpojení. Během celého procesu se nám vedle motoru zobrazuje jeho aktuální teplota, pod ním pak hodnoty nevývahy, efektivní hodnoty rychlosti a parametru a_{eff} po jednotlivých snímačích. Pod těmito panely máme časové

záznamy hodnot RMS a nevývahy, která je chybně na obrázku pojmenována jako Bearing tedy ložiska.

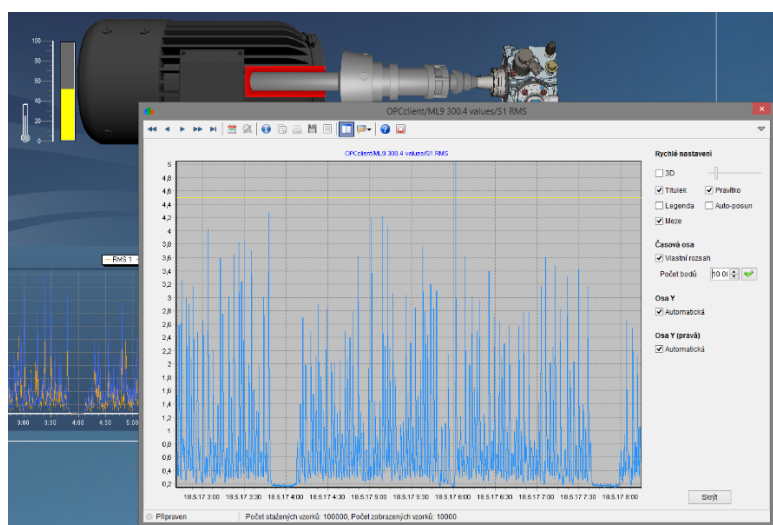


Obr. 48) Náhled na konkrétní linku



Obr. 49) Náhled na konkrétní motor

Jelikož si program ukládá do historie data natahaná z programu EO, je možné pro pravém kliknutí zobrazit grafy zvoleného parametru a sledovat jeho trend po námi zvolené období. Toto lze vidět na Obr. 50).



Obr. 50) Zobrazení časového záznamu zvoleného parametru

18 ZLEPŠENÍ A DOPORUČENÍ

V rámci předložené diplomové práce bylo úkolem ve firmě Bosch především optimalizace nastavení jednotek IFM VSE 100 z hlediska již definovaných limit pro výstrahu a přerušení provozu, změna možnosti ukládání dat a jejich zobrazování.

Na začátku byly na motorech sledovány 4 parametry, a to nevývaha, efektivní hodnota rychlosti, efektivní hodnota zrychlení v rozmezí 3,5 kHz až 6 kHz a peak_a_max pro sledování amplitud zrychlení pod 975 Hz. K těmto čtyřem parametrům byla též sledována teplota.

18.1 Zlepšení

Skoro na všech těchto parametrech byly provedeny změny především v limitech. U nevývahy byly přenastaveny na základě proměření závislosti mezi měřením prováděným během preventivní údržby TPM, kdy se motor točí otáčkami 4500 ot. /min. a snímáním pomocí akcelerometrů, které zaznamenávají data pouze při relativně ustálených otáčkách v programu z PLC. Tyto otáčky se od již zmíněných lišily o 1000 ot. / min a proto jsem navrhla zjistit, jak moc výchylka klesne při nižších otáčkách a poměrově jsem zmenšila limity. Byla zohledněna i data z historie jednotky.

Dalším zlepšením bylo přidání sledování harmonických frekvencí od nevývahy, kdy se na několika motorech projevila např. nesouosost na 1. harmonické. Zatím jich do programu bylo nastaveno 6., ale stále jsou kapacity jich sledovat ještě víc.

Limity u RMS byly optimalizovány podle norem, které definují výstrahu i přerušení provozu, podle výkonu stroje a způsobu jeho uložení.

Poté proběhlo upravení limit pro a_eff. Tento parametr byl zadán na popud techniků údržby a expertů na vibrace, ale kvůli přepočtům na mg a též kvůli sníženým otáčkám, byly tyto limity zvoleny špatně. Nejprve byly od techniků zjištěny jejich mezní hodnoty a následně využito měření pro rozdíly v hodnotě nevývahy při různých frekvencích a poměrově sníženy limity pro zrychlení.

Jediný parametr, na kterém nebyla provedena změna, byl peak_a_max pro hlídání amplitud zrychlení do 10 kHz. Původně jsem chtěla sledovat naopak vše nad 10 kHz, ale zaznamenávalo to jen šum a složité by se volily limity. Proto byl parametr ponechán v původním nastavení.

Již nastavené parametry byly obohaceny o sledování poruchových frekvencí ložisek. Dosud nebyly sledovány, protože dodavatel neposkytl, jak informace o stroji, tak o jeho součástech. Je to strategická výhoda, protože neví-li zákazník jaká ložiska v motoru má, pošle ho na opravu celý a dodavatel tak vydělá peníze. Na lince 9 stanici 2 došlo v roce 2016 k poruše, technici demontovali ložisko a to sloužilo jako podklad pro výpočet poruchových frekvencí.

Poslední zlepšení bylo provedeno v nastavení limit teploty. Ty byly do té doby pouze nastaveny tak, aby mohla jednotka data ukládat, ale poté, co se potvrdilo ukládání dat o teplotě do programu Reliance 4 na vizualizaci, vznikla tu možnost nastavit limity pro výstrahu a přerušení provozu. Tyto meze byly voleny z testovacího souboru dat.

18.2 Doporučení

Tato podkapitola se vztahuje především k Tab 39) , kde uvádím konkrétní motory, na nichž není nutné v současné době, vzhledem k úrovni vibrací, provádět jakékoli zásahy a měření. Dále je uvedeno 6 motorů, u kterých je doporučeno proměřit především nevývahu, potvrdit jejich způsobilost k provozu a případně zvýšit limity nastavené v EO. Dále hloubkově zanalyzovat pravidelně se opakující amplitudy zrychlení ve frekvenčním spektru. Některé se projevují stále na stejných frekvencích nezávisle na motoru, takže bych předpokládala, že může jít o vibraci od spojky, nebo tu je stále i možnost, že výrobce nedal do všech motorů stejná ložiska, a proto ve spektrech zcela neodpovídají frekvenční značky poruch.

Poslední skupinou jsou motory, které vyžadují okamžitou pozornost, především z hlediska nevývahy, která na nich nejen dosahovala vyšších hodnot, ale také se projevoval zvyšující se trend hodnot. Jelikož se výše zmíněné amplitudy zrychlení projevují i na těchto motorech, lze doporučit přednostně proměřit tyto kritické stroje a zjistit správnost nastavení limit. A při té příležitosti sesbírat i data a spektra ve zrychlení a detailně se na ně zaměřit. Dále po potvrzení výsledků, bude nutné stroje vyvážit a zároveň bude z měření dostatek informací pro diagnostiku nesrovnalostí ve spektru.

Odhalením příčiny těchto amplitud bude možné zadat do Efectoru Octavis i další parametry, které by nám tyto poruchové frekvence mohly hlídat, a tím bychom měli stroje více pod kontrolou a podchytili bychom další zdroje možných poruch.

Dalším doporučením je přidat kontrolu senzorů do pravidelné prohlídky nebo TPM preventivní údržby. Žádný stroj není dokonalý a i jednotky mají své chyby a přestanou fungovat, což se stalo i mě při vyhodnocování. Bylo by tedy vhodné, aby jednou za čas někdo i překontroloval jednotku a jejich odezvu na testovací signál.

Všech 32 motorů bylo instalováno postupně od roku 2005, jediná oprava byla provedena na stanici 2 linky 9. Živostnost ložisek je zhruba 15 let. Lze tedy předpokládat, že motory linky 3, 5 a 7 půjdou na přeložiskování v rozmezí dvou až tří let. A o něco novější pak během následujících 3-5 let. Bližší definování zbylé živostnosti bude možné až po provedení měření na motorech k vyvážení.

K vizualizaci obecně velká zlepšení nemám, její provedení je přehledné a názorné, jediné co, tak bych do ní přidala sledování nového parametru Bearings, ale to až po provedení měření a zhodnocení teorie, že jsou na některých motorech jiná ložiska, aby tento ukazatel dodával správné hodnoty a byl vypovídající.

19 ZÁVĚR

S příchodem dalších a dalších průmyslových revolucí, se vyvíjela výroba a s ní i údržba. V počátcích výroby se pod pojmem údržba myslela oprava samotným uživatelem, která přes první specializované pracovníky vypracovala až do fáze centralizované řízeného útvaru. Po třetí průmyslové revoluci vznikají oddělení s odborníky na mechanickou, elektrickou a softwarovou údržbu, a rozvíjí se různé komplexní přístupy jejího řízení. Tyto přístupy kombinují údržbu po poruše s údržbu preventivní, prediktivní a proaktivní.

S nástupem Industry 4.0 se klade podstatně větší význam na údržbu prediktivní a proaktivní a především na jejich metody, kam patří například technická diagnostika. Jestliže je plánováno v programu Industry 4.0, že mají stroje komunikovat a sami přijímat objednávku, je nutné užití velkého množství senzorů pro monitorování stavu výroby i samotného technického stavu zařízení.

Ve firmě Bosch Diesel s.r.o. vzniká mnoho projektů zaměřených na tematiku Industry 4.0 a jedním z nich je i vizualizace stavu mnoha zařízení pro usnadnění rozhodování a pro názorné zobrazení výsledků. Podkladem pro tuto vizualizaci jsou metody technické diagnostiky, realizované pomocí senzorů umístěných na strojích a sbírání a analýza dat z nich získaných.

V této diplomové práci jsem měla rozebrat moderní přístupy k údržbě a aplikovat je v praxi v konkrétní firmě. Od Bosch Diesel s.r.o. byl zadán úkol zhodnotit stavy 32 motorů zkušebních stanic CP4, na nichž jsou připevněny 2 snímače vibrací a jeden snímač teploty. Po propojení těchto senzorů se softwarem Efecter Octavis byla nutná optimalizace nastavení sběrné jednotky a kontrola nastavených limitů pro výstrahu a přerušení provozu.

S pomocí norem, zkušených techniků údržby a diagnostiky a pomocí měření byla provedena změna těchto limitů u parametrů sledujících nevývahu, efektivní hodnotu rychlosti a zrychlení, a teplotu. Překážkou byla nekonstantní rychlost otáčení, která se řídila programem z PLC a tudíž nebylo možné provést měření za stálých otáček, ale jen za takových, kdy bylo kolísání velmi malé. Tato relativně ustálená rychlost nebyla ale rychlostí maximální, proto bylo třeba provést měření a zohlednit velikost úrovně vibrací při menších otáčkách. Dále byl přidán parametr, který bude hlídat poruchové frekvence ložisek, kromě poruchy klece. Poškození ostatních komponent ložiska bude mít vliv i na klec a tudíž se její poškození nejdříve projeví právě na nastavených frekvencích a není nutné tuto frekvenční značku do parametrů přidávat.

Po přenastavení a kontrole všech parametrů bylo provedeno zhodnocení všech motorů z hlediska nastavených limitů. Dvacet motorů vyšlo z analýzy s dobrými výsledky a není třeba jim věnovat zvýšenou pozornost. Oproti tomu na 6 motorů bylo doporučeno pro častější kontrolu dat ze senzorů nebo zvýšení počtu off-line diagnostických měření vibrací pro hlídání jejich stavu, který naznačuje mírné zhoršení.

Poslední skupinou je 6 motorů, které vykazují opakované překročení limitů i zvýšený trend nejčastěji u nevývahy a RMS. V některých případech jde o navýšení efektivního zrychlení vibrací nebo zvýšení počtu náhodných vysokých amplitud zrychlení. Na těchto motorech byla doporučena hlubší analýza pomocí měření s technikem údržby a zhodnocení relevance dat ze senzorů.

Vzhledem ke stáří motorů byly předpokládány větší projevy vibrací od ložisek, poté co na jejich poruchové frekvence bylo nastaveno sledování. Při analýze spekter se objevily jen

minimálními výchyly na frekvenčních značkách jednotlivých poruch a naopak s vyšší amplitudy, které ležely mimo ně. Některé hodnoty byly vysoké a těsně pod sledovaným pásmem 3,5 kHz až 6 kHz. Jiné byly menší, ale jejich rozložení odpovídalo čtyřem poruchovým frekvencím na ložisku, které by ale mělo jiné parametry než to změřené. Z těchto údajů bylo pojato podezření, že na všech motorech nemusí být stejná ložiska a tato myšlenka bude v následujícím měsíci rozvíjena. Potvrdí-li se, bude vhodná úprava nastavení frekvenčních značek pro konkrétní motory a jejich ložiska, aby bylo monitorování přesnější.

Ráda bych podotkla, že odevzdáním této diplomové práce ještě s projektem ve firmě Bosch Diesel s.r.o. nekončím, ale budu se věnovat vyhodnocení spekter, zjištění příčin vysokých amplitud a své myšlence s různými ložisky, abych mohla předpovědět zbylou životnost jednotlivých motorů a tím dokázat přínos monitorování k produktivitě výroby.

20 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2.
- [2] ČSN EN 13306. *Terminologie údržby*. 2. Česká Republika: Český normalizační institut, 2002.
- [3] BILOŠ, Jan a Alena BILOŠOVÁ. *Aplikovaný mechanik jako součást týmů konstruktérů a vývojářů: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012. ISBN 978-80-248-2755-1.
- [4] *Udržovatelnost a zajištění údržby: Materiály z 8. setkání odborné skupiny pro spolehlivost* [online]. Praha: Česká společnost pro jakost, 2002 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/08_Udrzovatelnost.pdf
- [5] HAMMER, Miloš. *Přednášky z předmětu: Technická diagnostika 1 (XT1)*. Vysoké učení technické v Brně, 2016.
- [6] *Udržovatelnost a zajištění údržby: Materiály z 58. setkání odborné skupiny pro spolehlivost* [online]. Praha: Česká společnost pro jakost, 2014 [cit. 2017-05-11]. ISBN 978-80-02-02558-0. Dostupné z: http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/sbornik58.pdf
- [7] HAMMER, Miloš. *Přednášky z předmětu: Technická diagnostika 2 (XT2)*. Vysoké učení technické v Brně, 2017.
- [8] ZEZULKA, František, Ivo VESELÝ a Vlastimil BROWN. *Industry 4.0: úvod do problematiky-základní modely*. [online]. b.r. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.compas.cz/images/Industry4.0/Industry-4.0.-zakladni-modely.pdf>
- [9] FUSKO, Miroslav. *Údržba v Priemysle 4.0* [online]. b.r. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Miroslav_Fusko/publication/285766093_Udrzba_v_Priemysle_40/links/5663197c08ae4931cd5ed958.pdf
- [10] VOJÁČEK, Antonín. Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0 / Průmysl 4.0 ?. In: *Automatizace.HW.cz / Elektronika v automatizaci* [online]. Česká Republika: HW sever s.r.o., 2014 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skryva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
- [11] MELANSON, Anthony. What Industry 4.0 Means for Manufacturers. In: *Aethon: Autonomous Mobile Robots and Tracking Solutions* [online]. Aethon Inc. Pittsburgh,,: Aethon, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.aethon.com/industry-4-0-means-manufacturers/>

- [12] CEZ (OEE) - IPA Slovník - IPA Czech. *IPA Czech: Firemní vzdělávání, Inovace, Strategický rozvoj, Výrobní management, Optimalizace výroby, Soft skills* [online]. Žilina: IPA Czech, 2012 [cit. 2017-04-5]. Dostupné z: <http://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/cez-oeo>
- [13] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0650-9.
- [14] ČSN ISO 17359: *Monitorování stavu a diagnostika strojů - Obecné pokyny*. Praha: Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [15] *Technická diagnostika a spolehlivost: materiály z 45. setkání odborné skupiny pro spolehlivost, Praha, listopad 2011 : [sborník přednášek]*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02352-4.
- [16] HOLUB, Ondřej. *Proaktivní diagnostika a monitorování stavu trojfázových asynchronních motorů*. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.
- [17] CHMELÍK, Karel. Problémy provozu a údržby elektromotorů. In: *Řízení a údržba průmyslového podniku* [online]. Česká republika: Trade Media International s. r. o., 2007-2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/problemy-provozu-a-udrzby-elektromotoru/>
- [18] ANDERSON, Jan. *Základní příručka o vibracích*. Teplice, 1997.
- [19] ČSN ISO 13 373-1. *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 1: Obecné postupy*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2003.
- [20] ČSN ISO 13373-1: *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 1: Obecné postupy*. b.r.
- [21] ČSN ISO 10816-1. *Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1998.
- [22] Pobočky - BOSCH DIESEL s.r.o. *Bosch v České republice* [online]. Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o., 2017 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/jihlava_menu/jihlava_menu_uvod.html
- [23] JhP Bosch Diesel s.r.o., *Interní dokumentace*. Jihlava, 2013.
- [24] 6216 2Z C3 - FAG Deep Groove Bearing - 80x140x26mm. *Quality Bearings Online - Deep Groove, Tapers, Precision and much more* [online]. Bramley, Leeds, West Yorkshire: Quality Bearings Online, 2016 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.qualitybearingsonline.com/6216-2z-c3-fag-deep-groove-bearing-80x140x26mm/>
- [25] VSA005 - Akcelerometr - eclass: 27201406 / 27-20-14-06. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. Česká Republika: ifm electronic, spol. s

r.o., 1998-2017 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z:
<http://www.ifm.com/products/cz/ds/VSA005.htm>

- [26] VSE100 - Vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory - eclass: 27201406 / 27-20-14-06. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. Česká Republika: ifm electronic, spol. s r.o., 1998-2017 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/VSE100.htm>
- [27] TS2229 - teplotní senzor pro připojení na vyhodnocovací jednotku - eclass: 27200214 / 27-20-02-14. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. Česká Republika: ifm electronic, spol. s r.o., 1998-2017 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/TS2229.htm>
- [28] TP3231 - Převodník měřicího signálu pro teplotní senzory - eclass: 27279213 / 27-27-92-13. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. Česká Republika: <https://www.ifm.com/ifmcz/web/home.htm>, 1998-2017 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/TP3231.htm>
- [29] Programming manual Software for efector octavis: VES003 Version 3.0. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. Česká Republika: ifm electronic, spol. s r.o., 1998-2017 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: https://www.ifm.com/img/pro_manual_3.pdf

21 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

21.1 Seznam tabulek

Tab 1) Příklad přiřazení závad elektromotoru měřeným parametřům a metodám [14]	31
Tab 2) Klasifikace pásem mohutnosti vibrací pro stroje skupiny 1 a 2	43
Tab 3) Parametry a hodnoty poruchových frekvencí ložisek	55
Tab 4) Sumarizace důležitých poruch	56
Tab 5) Parametry motoru	64
Tab 6) Limity jednotlivých parametrů	73
Tab 7) Vyhodnocení motoru 1 linky 3	73
Tab 8) Vyhodnocení motoru 2 linky 3	74
Tab 9) Vyhodnocení motoru 3 linky 3	75
Tab 10) Vyhodnocení motoru 4 linky 3	76
Tab 11) Vyhodnocení motoru 1 linky 5	76
Tab 12) Vyhodnocení motoru 2 linky 5	77
Tab 13) Vyhodnocení motoru 3 linky 5	77
Tab 14) Vyhodnocení motoru 4 linky 5	78
Tab 15) Vyhodnocení motoru 1 linky 7	79
Tab 16) Vyhodnocení motoru 2 linky 7	79
Tab 17) Vyhodnocení motoru 3 linky 7	80
Tab 18) Vyhodnocení motoru 4 linky 7	80
Tab 19) Vyhodnocení motoru 1 linky 9	80
Tab 20) Vyhodnocení motoru 2 linky 9	81
Tab 21) Vyhodnocení motoru 3 linky 9	82
Tab 22) Vyhodnocení motoru 4 linky 9	82
Tab 23) Vyhodnocení motoru 1 linky 10	83
Tab 24) Vyhodnocení motoru 2 linky 10	83
Tab 25) Vyhodnocení motoru 3 linky 10	84
Tab 26) Vyhodnocení motoru 4 linky 10	84
Tab 27) Vyhodnocení motoru 1 linky 11	85
Tab 28) Vyhodnocení motoru 2 linky 11	85
Tab 29) Vyhodnocení motoru 3 linky 11	86
Tab 30) Vyhodnocení motoru 4 linky 11	86
Tab 31) Vyhodnocení motoru 1 linky 12	87
Tab 32) Vyhodnocení motoru 2 linky 12	87
Tab 33) Vyhodnocení motoru 3 linky 12	88
Tab 34) Vyhodnocení motoru 4 linky 12	88
Tab 35) Vyhodnocení motoru 1 linky 13	89
Tab 36) Vyhodnocení motoru 2 linky 13	89
Tab 37) Vyhodnocení motoru 3 linky 13	90
Tab 38) Vyhodnocení motoru 4 linky 13	90
Tab 39) Tabulka celkového vyhodnocení	91

21.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Vztahy mezi pojmy z oblasti spolehlivosti [6]	19
Obr. 2) Dělení údržby [6]	20
Obr. 3) Vývoj jednotlivých průmyslových revolucí a jejich charakteristik [10]	23
Obr. 4) Základní prvky Průmyslu 4.0 [11]	24
Obr. 5) 6 velkých ztrát [12]	26
Obr. 6) TPM (Totálně produktivní údržba) [12]	26
Obr. 7) Zavedení autonomní údržby [1]	29
Obr. 8) Dělení dotykových teploměrů [5]	33
Obr. 9) Veličiny popisující kmitavý pohyb [3]	37
Obr. 10) Omezení při měření [3]	37
Obr. 11) Schéma akcelerometru [3]	39
Obr. 12) Typy akcelerometrů [3]	39
Obr. 13) Schéma systému měření bezdotykovou sondou [3]	40
Obr. 14) Snímač rychlosti [3]	40
Obr. 15) Směry měření vibrací [13]	41
Obr. 16) Pásma vibrací [21]	42
Obr. 17) Schéma analyzátoru [3]	45
Obr. 18) Parametry měřené veličiny [16]	46
Obr. 19) Princip Fourierovy transformace [3]	46
Obr. 20) Obálková metoda [3]	47
Obr. 21) Rozložený asynchronní motor s kotvou nakrátko [13]	49
Obr. 22) Rozdělení frekvenčního spektra [13]	51
Obr. 23) Projev nevývahy ve frekvenčním spektru [18]	52
Obr. 24) Typy nesouososti a správné ustavení stroje [13]	53
Obr. 25) Působení střídavé síly na hřídel [18]	53
Obr. 26) Frekvenční spektrum s různými projevy vibrací [18]	53
Obr. 27) Konstrukce valivého kuličkového ložiska [3]	54
Obr. 28) Parametry vzorců pro výpočet poruchových frekvencí [18]	54
Obr. 29) Rozvoj poškození valivého ložiska [3]	56
Obr. 30) Logo Bosch Diesel s.r.o.	57
Obr. 31) Historie produktů závodu Bosch Diesel s.r.o. [23]	57
Obr. 32) Čerpadlo CP4 a produkty vyráběné závodem v Jihlavě [23]	58
Obr. 33) Rozdělení údržby na oddělení TEF3 [23]	59
Obr. 34) Průběh otáček na motorech zkušebních stanic CP4	63
Obr. 35) a) Motor zkušebních stanic firmy AMK; b) Ložiska FAG 6216-2Z/C3 [24]	63
Obr. 36) Uspořádání zkušební stanice a) pohled zepředu; b) pohled zezadu	64
Obr. 37) Senzor vibrací VSA005 [25]	64
Obr. 38) Vyhodnocovací jednotka VSE100 [26]	65
Obr. 39) a) Sensory teploty [27], b) Převodník [28]	65
Obr. 40) Schéma propojení a možností softwaru Efector Octavis [29]	66
Obr. 41) Realizace radiálního vibračního senzoru na předním ložisku motoru	66
Obr. 42) EO – nastavené hodnoty pro parametr nevývaha	67
Obr. 43) Frekvenční spektrum ze zkoušky na nevývahu	69
Obr. 44) Záložka EO Monitoring	71
Obr. 45) Záložka frekvenční analýza	72
Obr. 46) Záložka historie	72
Obr. 47) Hlavní panel vizualizace motorů montážní linky CP4	93
Obr. 48) Náhled na konkrétní linku	94
Obr. 49) Náhled na konkrétní motor	94
Obr. 50) Zobrazení časového záznamu zvoleného parametru	94